

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

«__» _____ 2026 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: "Резервне джерело живлення"

Виконав: студент 4361 групи

Пулько
(підпис)

Пулько Д.Ю.

Керівник роботи:

К.Т.Н., доцент

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Костенко
(підпис)

Костенко Д.В.

Миколаїв – 2026 р.

Міністерство освіти і науки України

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

«__» _____ 2026 року

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

Студенту Пульку Денису Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Резервне джерело живлення

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

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

2. Термін виконання роботи 14 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи напруга 220В, частота мережі 50Гц

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів) специфікація пристроїв, структурна схема резервного живлення, схема вимикачів резервного живлення, розрахунки енергоспоживання, монтаж резервної системи живлення, охорона праці.

5. Перелік презентаційного матеріалу

Електронна презентація

6. Консультанти розділів проєкту

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Видача завдання на КР	13.09.2025 р.	
2	Рубіжний контроль. Чернові варіанти розділів та розширеного змісту ПЗ	10.04.2026 р.	
3	Рубіжний контроль. Готовий розширений зміст ПЗ, спецрозділів, 1-3 розділи ПЗ. Розрахунки.	28.04.2026 р.	
4	Рубіжний контроль. Чернетка повної пояснювальної записки, презентації та доповіді.	11.05.2026 р.	
5	Кафедральний захист. Готова, зшита ПЗ, підписана студентом, керівником. Готова презентація та доповідь укр. мовою.	14.06.2026 р.	
6	Подання документів на захист.	14.06.2025 р.	
7	Захист кваліфікаційної роботи	16.06–25.06. 2026 р.	

Студент

Пулько
(підпис)

Пулько Д.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

[Підпис]
(підпис)

Костенко Д.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, шести розділів та висновків, що викладені на 80 сторінках машинописного тексту, містить 12 таблиць, 2 рисунки і 2 схеми та перелік літератури з 21 найменування.

Метою роботи є проектування, розрахунок та опис резервної системи живлення для використання при зникненні централізованого електропостачання. У роботі обґрунтовано вибір компонентів системи та їх технічні характеристики. Розроблено структурну схему гібридної системи резервного живлення та описано логіку її функціонування у чотирьох сценаріях роботи, самостійно розроблено три схеми автоматичного перемикавання резервного живлення, і виконано інженерний розрахунок номіналів усіх елементів схем, та їх перевірка в програмному забезпеченні.

Ключові слова: резервне живлення, сонячна панель, перетворювач, автоматичне перемикавання, автономність.

ABSTRACT

The bachelor's qualification work consists of an introduction, six chapters and conclusions, which are set out on 80 pages of typewritten text, contains 12 tables, 2 figures and 2 diagrams and a list of literature with 21 titles.

The purpose of the work is to design, calculate and describe a backup power system for use in the event of a centralized power supply failure. The work justifies the choice of system components and their technical characteristics. A structural diagram of a hybrid backup power system has been developed and the logic of its functioning in four operating scenarios has been described, three automatic backup power switching schemes have been independently developed, and an engineering calculation of the nominal values of all circuit elements has been performed, and their verification in software has been performed.

Keywords: backup power, solar panel, converter, automatic switching, autonomy.

Зміст

АНОТАЦІЯ 6

ВСТУП 7

РОЗДІЛ 1. СПЕЦИФІКАЦІЯ ПРИСТРОЇВ 8

1.1 Загальна структурна схема системи резервного живлення 8

1.2 Акумуляторна батарея LiFePO₄ Datouboss 12.8V 100 А/год 8

1.3 Контролер заряду KW1230 PWM 12/24V 30A 10

1.4 Сонячна панель 200 Вт 18V (SN27) 12

1.5 MC4 конектори (пара, 30A 1000V) 13

1.6 Інвертор 12/220V, 2000 Вт (чиста синусоїда) SC2000VA 13

1.7 Підвищувальний DC-DC перетворювач 12-19V, 150 Вт 14

1.8 Знижувальний DC-DC перетворювач LM2596S (12-9V) 15

1.9 Світлодіодна стрічка PROLUM 12V SMD2835 16

1.10 Роутер TP-Link Archer C20 16

1.11 Абонентський термінал ONU Picotel PU-X910 17

1.12 Холодильник 17

1.13 Циркуляційний насос опалення WETRON 25-6/180 18

1.14 Запобіжники F1 та F2 19

1.15 Кабель мідний 19

1.16 Вимикачі освітлення, роутера та терміналу 19

РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРНА СХЕМА РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ 20

2.1 Загальна концепція системи 20

2.2 Підсистема генерації та накопичення енергії 20

2.3 Ланцюги постійного струму 22

2.4 Ланцюг змінного струму через інвертор (12 V – 220 V) 23

2.5 Сценарії роботи системи 25

2.5.1 Штатний режим (мережа 220 V присутня, день) 25

2.5.2 Штатний режим (мережа присутня, ніч або хмарно) 25

2.5.3 Аварійний режим (мережа 220 V відсутня, день) 26

2.5.4 Аварійний режим (мережа відсутня, ніч) 26

2.6 Одночасна робота заряду і живлення навантаження 26

РОЗДІЛ 3. СХЕМА ВИМИКАЧІВ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ 28

3.1 Загальна задача вимикачів резервного живлення 28

3.2 Вимикач резервного освітлення 28

3.3 Вимикач роутера та вимикач терміналу інтернету 32

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ 38

4.1 Перевірка компонентів на допустимі навантаження	38
4.1.1 Кабель мідний 6 мм ²	38
4.1.2 Запобіжник F1 (30 A)	39
4.1.3 Запобіжник F2 (150 A)	39
4.1.4 Контролер заряду KW1230	39
4.1.5 DC-DC підвищувальний перетворювач (12-19 В)	40
4.1.6 DC-DC знижувальний перетворювач LM2596S (12-9 В)	40
4.1.7 Інвертор 2000 Вт	40
4.2 Реальне споживання від акумулятора	41
4.3 Розрахунок енергоспоживання та автономності по сезонах	42
4.3.1 Зима	43
4.3.2 Весна та Осінь	45
4.3.3 Літо	46
4.4 Час заряду акумулятора від сонячних панелей	48
4.5 Розрахунок елементів схеми вимикача резервного освітлення	49
4.5.1 Вихідні умови	49
4.5.2 Розрахунок гасячого конденсатора C1	49
4.5.3 Розрахунок захисного резистора R1	50
4.5.4 Розрахунок розрядного резистора R2	51
4.5.5 Розрахунок стабілітрона VD2	52
4.5.6 Розрахунок згладжувального конденсатора C2	52
4.6 Розрахунок елементів схеми вимикача роутера	53
4.6.1 Розрахунок R3 – струмообмежувальний резистор оптопари	53
4.6.2 Розрахунок дільників напруги R4, R5, R6 для компаратора LM393	54
4.6.3 Розрахунок R7 – резистор затвора IRF540	56
4.6.4 Перевірка транзистора VT1 (IRF540)	56
4.7 Комп'ютерна симуляція схеми вимикача резервного освітлення	58
4.7.1 Середовище симуляції та модель	58
4.7.3 Результати симуляції та їх аналіз	61
4.8 Комп'ютерна симуляція схеми вимикача роутера	61
4.8.1 Модель схеми	61

РОЗДІЛ 5. МОНТАЖ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ 64

5.1 Загальні принципи та послідовність монтажу	64
5.2 Підготовка та розміщення компонентів	64

5.3 Монтаж сонячної панелі	65
5.5 Монтаж інвертора і запобіжника F2	66
5.6 Підключення DC-DC перетворювачів	67
5.8 Складання вимикачів резервного живлення	68
5.9 Підключення акумулятора	69
5.10 Перший запуск і перевірка системи	70
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ	72
6.1 Загальні положення	72
6.2 Електрична безпека	72
6.3 Пожежна безпека	75
6.4 Безпека при обслуговуванні системи	76
6.5 Перша допомога при ураженні електричним струмом	77
ВИСНОВОК	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	80

ВСТУП

Від початку війни в Україні, проблеми з електропостачанням стали повсякденністю мало не всіх областей країни. Всі електрооб'єкти зазнають регулярних ракетних і дронів ударів, що призводить до тривалих аварійних і планових відключень електроенергії всюди. В умовах тривалих відключень навіть базові потреби людей стають проблемою: відсутність освітлення, неможливість роботи з комп'ютером, відключення інтернету, зупинка системи опалення у холодну пору року і т.д.

Комерційні рішення для резервного живлення – промислові джерела безперебійного живлення, готові сонячні електростанції – наявні на ринку, проте їх вартість є значною і часто недоступною для звичайної родини. При цьому більшість таких систем містить компоненти що є зайвими для конкретного домогосподарства, або навпаки – не вирішують усіх наявних потреб користувача.

Актуальність даної роботи полягає у розробці та практичній реалізації власної системи резервного живлення для житлового будинку, побудованої з доступних компонентів.

Метою роботи є проектування, розрахунок та опис резервної системи живлення для її використання при зникненні централізованого електропостачання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Обрати компоненти майбутньої системи і їх технічні характеристики.
2. Розробити структурну схему системи резервного живлення та описати логіку її функціонування.
3. Виконати інженерні розрахунки та комп'ютерну симуляцію елементів системи.
4. Описати порядок монтажу системи та вимоги охорони праці при її експлуатації.

Призначення – для побудови системи в умовах звичайних сімей України.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. СПЕЦИФІКАЦІЯ ПРИСТРОЇВ

1.1 Загальна структурна схема системи резервного живлення

Резервна система живлення складається з багатьох компонентів, представлених на схемі 1.1 нижче, на яку будуть численні посилання в цій роботі. Саме для цієї системи, в цьому розділі будуть перелічені всі специфікації складових та компонентів, які потрібні для створення даної схеми на практиці.

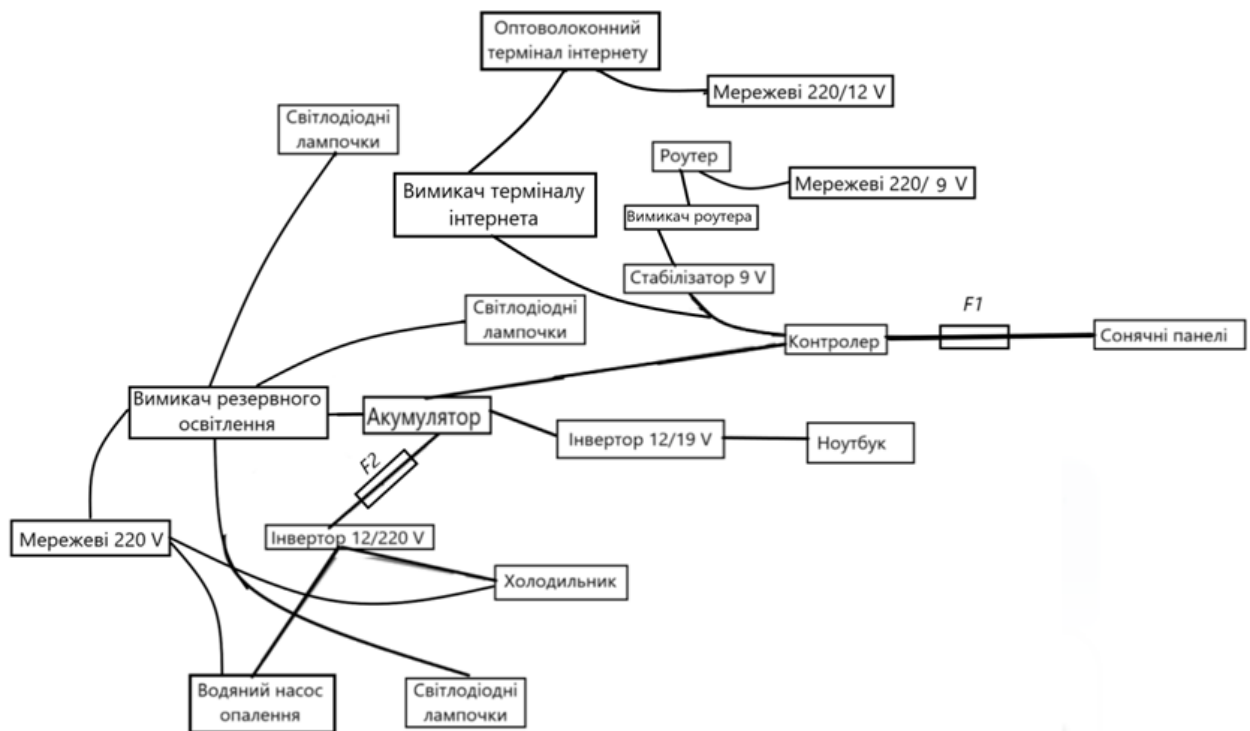


Схема 1.1. Структурна схема системи резервного живлення

1.2 Акумуляторна батарея LiFePO4 Datouboss 12.8V 100 A/год

Акумуляторна батарея є центральним елементом резервної системи живлення – саме в ній зберігається електроенергія, і віддається споживачам живлення при відсутності світла, та заряджається в день від сонячних панелей або електромережі.

Обрана батарея використовує літій-залізо-фосфатну технологію (LiFePO₄), безпечний та довговічний різновид літієвих акумуляторів. На відміну від

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свинцево-кислотних аналогів, ця модель акумулятора допускає глибокий розряд до 80-90% ємності без суттєвої втрати ресурсу, має стабільну вихідну напругу весь цикл розряду, і має невелику вагу.

Вбудована система керування BMS (Battery Management System) автоматично захищає акумулятор від перезаряду, глибокого розряду, перегріву та перевантаження, усуваючи необхідність у додатковому зовнішньому захисті.

Цей акумулятор базово призначений для:

- резервного живлення квартири чи будинку;
- інверторів та системи UPS (ДБЖ);
- сонячних електростанцій;
- off-grid систем;
- автономних енергосистем;
- серверного та телекомунікаційного обладнання.

Її ціна в наш час (на момент весни 2026 року) може коливатися в межах 8-10 тисяч грн., а основні технічні характеристики наведені в таблиці 1.1. нижче:

Таблиця 1.1. Основні технічні характеристики LiFePO4 Datouboss

Параметр	Значення
Тип	LiFePO4 (літій-залізо-фосфатний)
Номінальна напруга	12.8 В
Ємність	100 А*год
Енергоемність	1280 Вт*год (1.28 кВт*год)
Напруга повного заряду	14.6 В
Напруга відсікання розряду	приблизно 10 В
Робоча напруга заряджання	14,4-14,6 В
Максимальний струм заряду	50 А
Рекомендований струм заряду	20-30 А
Номінальний струм розряду	100 А
Максимальний струм розряду	120 А

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ресурс	до 3000 циклів при 80% DoD
Термін служби	до 8-10 років
Вбудований захист	BMS
Маса	12 кг
Габарити	330 * 170 * 215 мм
Температура заряджання	Від 0°C до +45°C
Температура розряду	Від -20°C до +55°C
Допустима вологість	до 95% без конденсації

1.3 Контролер заряду KW1230 PWM 12/24В 30А

Контролер заряду потрібен для керування процесом заряду акумулятора від сонячних панелей. Він регулює струм і напругу заряду відповідно до стану акумулятора, запобігає перезаряду та глибокому розряду, і захищає від зворотного розряду акумулятора через панель в нічний час.

Цей контролер реалізує триступеневий алгоритм ШІМ-заряду (PWM – Pulse Width Modulation): попередній заряд, основний заряд постійним струмом та підтримуючий заряд постійною напругою. PWM-тип контролера є простішим за MPPT-контролери, але і дешевшим, вартуючи близько 500 грн., порівняно з 3-5 тисяч грн. для MPPT-контролерів.

Контролер має рідкокристалічний дисплей для відображення параметрів системи та два вбудованих USB-порти для заряду мобільних пристроїв, зовнішній вигляд якого представлений нижче.

Контролер може працювати з такими типами акумуляторів як: гелеві, кислотні необслуговувані (герметичні), кислотні обслуговувані, залізо-літійові, літій-іонні. Таким чином, він може працювати і з акумулятором LiFePO4 Datouboss.

Нижче наведений рисунок дисплею та зовнішнього вигляду контролера:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

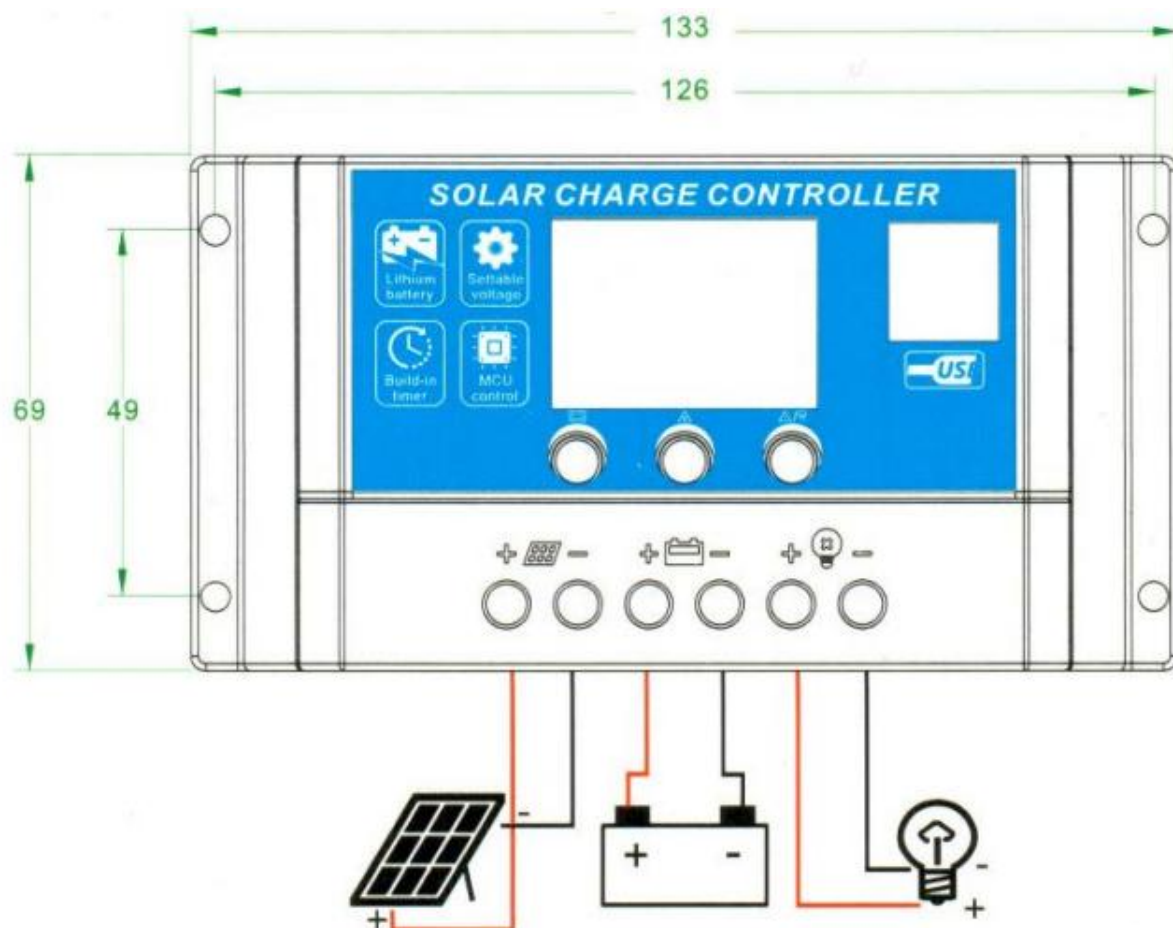


Рисунок 1.1. Контролер заряду KW1230 PWM 12/24В 30А

Як видно з рисунка, в контролера присутні шість гнізд, для сонячної панелі, акумулятора, і техніки й приладів що споживають близько 12 В і 10 А, а загальна потужність не перевищує 120 Вт (цих приладів).

Далі в таблиці 1.2. наведені технічні характеристики даного контролера.

Таблиця 1.2. Основні технічні характеристики KW1230

Параметр	Значення
Тип	PWM (ШІМ), триступеневий
Робоча напруга системи	12 / 24 В (автовизначення)
Номінальний струм заряду	30 А
Максимальна потужність панелі (12В)	1200 Вт
Максимальна вхідна напруга панелі (12В)	23 В

Струм навантаження	до 10 А
USB виходи	2 * 5В, до 2.5 А
Власне споживання	10 мА
Захист	перевантаження, КЗ, перезаряд, перерозряд, неправильна полярність
Ступінь захисту	IP21
Робоча температура	Від -35 до +60 °С
Габарити	133 * 68 * 30 мм

1.4 Сонячна панель 200 Вт 18В (SN27)

Сонячна панель призначена для перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію постійного струму, щоб заряджати акумулятор вдень.

Ця панель є полікристалічною (поліморфною), тобто має дещо нижчий ККД порівняно з монокристалічними, але є більш доступними за вартістю та задовільно працюють при розсіяному освітленні, коштуючи в районі 2500-3000+ грн. за штуку. Робоча напруга 18 В відповідає вимогам контролера KW1230 для систем з акумулятором 12 В (діапазон допустимих напруг панелі: 12-23 В).

Максимальний струм, який панель може подати на контролер: $I = P/U = 200/18 = 11.1$ А – що не перевищує номінального струму заряду контролера (30 А), і дозволяє взяти дві панелі (22.2 А), замість однієї.

Основні характеристики сонячних панелей представлені нижче, в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 Основні технічні характеристики SN27

Параметр	Значення
Тип	Полікристалічна (поліморфна)
Номінальна потужність	200 Вт
Робоча напруга (Umpt)	18 В

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний струм (Імпт)	~11.1 А
Підключення до контролера	через МС4 конектори

1.5 МС4 конектори (пара, 30А 1000В)

Для паралельного з'єднання двох сонячних панелей необхідні Y-конектори, для чого було обрано МС4 конектори («розгалужувачі»), за 34 грн. Їхні технічні особливості дозволяють з'єднати дві обрані панелі між собою, адже максимальний струм конекторів (30 А) менший ніж струм двох панелей (22,2 А). Ступінь захисту IP67 дозволяє використовувати їх на вулиці в тому числі й під дощем, що є стандартним для конекторів сонячних панелей.

Основні характеристики конекторів представлені нижче, в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Основні технічні характеристики МС4

Параметр	Значення
Максимальний робочий струм	30 А
Максимальна робоча напруга	1000 В
Максимальний переріз кабелю	4 або 6 кв.мм.
Температура експлуатації:	Від -40 до +90°C
Клас захисту у підключеному стані	IP67

1.6 Інвертор 12/220В, 2000 Вт (чиста синусоїда) SC2000VA

Інвертор перетворює постійний струм акумулятора (12 В DC) на змінний струм (220 В AC, 50 Гц) для живлення побутових приладів які є в кожному будинку: холодильника та циркуляційного насоса опалення.

Принципово важливою характеристикою є форма вихідного сигналу – чиста синусоїда. Це необхідна умова для коректної роботи електродвигунів (зокрема насоса та компресора холодильника). Інвертори з модифікованою синусоїдою

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можуть спричиняти перегрів і передчасний вихід з ладу таких пристроїв, через що їх просто не можна обирати.

Ціна цього інвертора коливається в межах 1500-2500 грн., а потужність 2000 Вт достатня для одночасного живлення холодильника (100 Вт) та насоса (100 Вт) з певним запасом, що дозволяє певне масштабування за такої потреби.

Цей інвертор має стандартний електронний захист від перевантаження.

Охолодження інвертора здійснюється за допомогою кулера, встановленого на задній панелі пристрою. Також є клеми для підключення кабелю від акумулятора.

Його основні технічні характеристики наведені в таблиці 1.5. нижче:

Таблиця 1.5. Основні технічні характеристики SC2000VA

Параметр	Значення
Вхідна напруга	12 В DC
Вихідна напруга	220 В AC
Частота	50 Гц +/- 2 Гц
Вихідна потужність	2000 Вт
Форма сигналу	Чиста синусоїда
ККД	>90%
Захист	перевантаження, КЗ, перегрів, низький заряд АКБ
Охолодження	активне (вентилятор)

1.7 Підвищувальний DC-DC перетворювач 12-19В, 150 Вт

Цей перетворювач потрібний для живлення ноутбука від акумулятора. Звичайний ноутбук зазвичай потребує напруги 19 В, тоді як акумулятор видає лише 12 В – цього не вистачить для заряджання, і тому різниця усувається за допомогою підвищувального перетворювача.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальна вихідна потужність: $19 \text{ В} * 6 \text{ А} = 114 \text{ Вт}$, що перевищує споживання ноутбука (65 Вт) вказане в його специфікаціях, і забезпечує необхідний запас з гарантією. Його ціна на ринку складає близько 200 грн., а основні технічні характеристики перетворювача представлені нижче:

Таблиця 1.6. Основні технічні характеристики перетворювача:

Параметр	Значення
Вхідна напруга	10-32 В
Вихідна напруга	12-35 В (регульована)
Максимальний вихідний струм	6 А
Максимальна потужність	150 Вт
Захист від перевантаження	є

1.8 Знижувальний DC-DC перетворювач LM2596S (12-9В)

Цей перетворювач потрібний для живлення роутера від акумулятора. Роутер TP-Link Archer C20, як і більшість роутерів, потребує 9 В, тоді як акумулятор дає 12 В. Цей перетворювач LM2596S знижує напругу до потрібного рівня з високим ККД (до 92%), що суттєво краще за лінійні стабілізатори.

Максимальний вихідний струм 3 А значно перевищує споживання роутера (0.6 А), що забезпечує стабільну роботу без перегріву, а ціна в близько 50 гривень робить його доволі дешевим вибором. Основні технічні характеристики перетворювача представлені нижче:

Таблиця 1.7. Основні технічні характеристики перетворювача:

Параметр	Значення
Вхідна напруга	3.2-40 В
Вихідна напруга	1.25-35 В (регульована)
Максимальний вихідний струм	3 А

ККД	до 92%
Захист по струму	3 А
Робоча температура	Від -45 °С до +85 °С

1.9 Світлодіодна стрічка PROLUM 12В SMD2835

Дана стрічка використовується як основне резервне освітлення, для трьох приміщень. Загальна довжина всіх стрічок разом – 15 метрів, що при питомій потужності метра стрічки в 9.6 Вт/м дає сумарне споживання 144 Вт. Стрічка живиться безпосередньо від акумулятора (12 В) без додаткових перетворювачів. До контролера їх підключати не можна, адже їх сумарне споживання перевищує 120 Вт, на які розрахований контролер. Ціна одного метра стрічки складає близько 40 грн/метр, що сумарно буде близько 600 грн, а його основні технічні характеристики перетворювача представлені нижче:

Таблиця 1.8. Основні технічні характеристики стрічок:

Параметр	Значення
Робоча напруга	12 В
Тип світлодіода	SMD 2835
Потужність	9.6 Вт/м
Кількість LED	120 шт/м
Світловий потік	950 Лм/м
Загальна довжина	15 м
Загальна потужність	144 Вт
Ступінь захисту	IP20
Ресурс	40 000 годин

1.10 Роутер TP-Link Archer C20

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний розтер забезпечує постійний доступ до інтернету, що є абсолютною базою в житті кожної людини сьогодення. Живиться він зазвичай від мережі, але також може живитися і від контролера, через знижувальний DC-DC перетворювач LM2596S (12-9В). Для даної роботи враховується лише електричне споживання представлене в таблиці нижче, без інших його характеристик, адже для цієї роботи, вони не є потрібними.

Таблиця 1.9. Основні технічні характеристики роутера:

Параметр	Значення
Напруга живлення	9 В
Споживаний струм	0.6 А
Споживана потужність	5.4 Вт

1.11 Абонентський термінал ONU Picotel PU-X910

Оптоволоконний термінал забезпечує підключення до інтернету через оптоволоконну лінію провайдера. Живиться він зазвичай від звичайної мережі, але при відключеннях світла живиться напряду від акумулятора (12 В) – додаткові перетворювачі не потрібні, адже у контролера і нього однакова напруга в 12 В, що відкидає потребу в перетворювачі чи інверторі. Його характеристики, необхідні для розрахунків представлені в таблиці нижче.

Таблиця 1.10. Основні технічні характеристики терміналу:

Параметр	Значення
Напруга живлення	12 В
Споживаний струм	0.5 А
Споживана потужність	Не більше 3 Вт

1.12 Холодильник

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В кожному будинку присутній холодильник, і без його живлення в теплі пори року (весна, літо й осінь), їжа всередині може дуже швидко зіпсуватися. В зиму це не так критично, але теж може бути дуже важливо. Модель конкретного холодильника для цілей даної роботи не має значення, адже їхнє споживання часто однакове. Крім цього, важливо врахувати, що компресор холодильника при запуску споживає пусковий струм, який у 3-5 разів перевищує номінальний (так зване пускове навантаження). Саме по цій причині, хоч для звичайної роботи потужній Інвертор не треба, для пускового моменту потрібна потужність велика, й з іншими приладами, через що був обраний Інвертор потужністю 2000 Вт.

Характеристики холодильника для розрахунків представлені нижче.

Таблиця 1.11. Основні технічні характеристики холодильника:

Параметр	Значення
Номінальна потужність	100 Вт
Живлення	220 В АС (через інвертор)

1.13 Циркуляційний насос опалення WETRON 25-6/180

Даний насос забезпечує циркуляцію води в системі опалення для обігріву дому під час холодів (зимою, весною і осінню). Насос має три режими швидкості, в максимальному режимі споживаючи 100 Вт, який і використовується зазвичай. Живиться він від звичайної мережі 220 В, а також через інвертор, від акумулятора, коли відсутнє освітлення. Наявність електродвигуна вимагає чистої синусоїди на виході інвертора – що й забезпечує обрана модель Інвертора вище.

Характеристики насоса, необхідні для розрахунків представлені в таблиці.

Таблиця 1.12. Основні технічні характеристики насоса:

Параметр	Значення
Потужність (макс.)	100 Вт
Живлення	220 В АС (через інвертор)

Режими роботи	3 (50, 70 і 100 Вт)
Максимальний напір	6 м
Максимальна продуктивність	50 л/хв
Ступінь захисту	IP44

1.14 Запобіжники F1 та F2

Запобіжники в представленій схемі, потрібні для захисту кабелів і пристроїв від струмів КЗ (короткого замикання).

F1 (30А) – встановлюється між сонячною панеллю та контролером заряду. Номінал обраний відповідно до максимального струму MC4 конекторів та вихідного струму панелей (~22 А) з достатнім запасом.

F2 (150А) – встановлюється між акумулятором та інвертором 12/220В. Номінал обраний відповідно до максимального вхідного струму інвертора при повному навантаженні: при потужності 2000 Вт і напрузі 12 В струм може сягати $I = P/(U \cdot \text{ККД}) = 2000/(12 \cdot 0.9) = 185 \text{ А}$ в піковому режимі. Запобіжник 150 А захищає кабель і спрацьовує при аномальному КЗ, не перешкоджаючи номінальній роботі системи.

1.15 Кабель мідний

30 метрів кабелю 6 мм², використовується для з'єднання всіх основних силових елементів системи: акумулятор – інвертор, панель – контролер. Переріз 6 мм² забезпечує допустиме падіння напруги та нагрів при струмах до 50-55 А всієї системи.

1.16 Вимикачі освітлення, роутера та терміналу

Для роботи вимикачі освітлення, роутера та терміналу були розроблені самостійно, і їх детальні особливості, схеми й інше наведені в розділі 3.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРНА СХЕМА РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ

2.1 Загальна концепція системи

Розроблена система резервного живлення є гібридною автономною системою з двома джерелами енергії: централізована електромережа 220 В від якої пристрої живляться при наявності світла (звичайна електромережа), та сонячні панелі з контролером та акумулятором. Система забезпечує безперервне живлення критично важливих споживачів при повному зникненні централізованого електропостачання.

За функціональним призначенням система на схемі 1.1., поділяється на три рівні:

- Рівень генерації та накопичення – сонячна панель, контролер, акумулятор;
- Рівень перетворення напруги – інвертор 12/220 В, підвищувальний DC-DC перетворювач 12/19 В, знижувальний DC-DC перетворювач 12/9 В (LM2596S);
- Рівень розподілу та захисту – запобіжники F1 і F2, вимикачі резервного живлення, споживачі.

За характером підключення всі споживачі системи поділяються на дві групи:

Група А – споживачі постійного струму (живляться від акумулятора напряму або через DC-DC перетворювачі): LED освітлення, ноутбук, роутер, оптоволоконний термінал, USB-зарядка телефонів.

Група Б – споживачі змінного струму (живляться від мережі 220 В у штатному режимі, або через інвертор у резервному): холодильник, циркуляційний насос опалення, частина LED освітлення.

2.2 Підсистема генерації та накопичення енергії

Дві сонячні панелі потужністю 200 Вт є головним джерелом відновлюваної енергії в системі. Вони виробляють постійний струм з робочою напругою 18 В та

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

максимальним струмом близько 22.2 А. Підключення панелей до контролера здійснюється через герметичні MC4-конектори, розраховані на струм 30 А та напругу 1000 В, що забезпечує надійне та вологозахищене з'єднання при зовнішньому розташуванні панелі, та з'єднання панелей в один кабель, який під'єднується до контролера.

Безпосередньо після сонячної панелі, до входу контролера, встановлений запобіжник F1 номіналом 30 А. Його завдання – захист кабельної лінії між панеллю і контролером від струмів короткого замикання. При нормальній роботі через F1 протікає струм не більше 22.2 А, тобто запобіжник має значний запас і не обмежує роботу системи. Спрацювання F1 можливе лише в аварійній ситуації, наприклад, влучанні блискавки.

Контролер є центральним вузлом підсистеми накопичення і виконує одразу кілька надзвичайно важливих функцій:

1. Керування зарядом акумулятора. Контролер регулює струм і напругу, що йдуть від панелі на акумулятор. Він самостійно визначає стан акумулятора і відповідно змінює режим заряду. Це виключає перезаряд і подовжує ресурс батареї.
2. Захист від зворотного розряду. Вночі або при відсутності сонця (коли на небі багато хмар) контролер автоматично відключає панель від акумулятора, запобігаючи зворотному розряду батареї через панель.
3. Живлення приладів 12 В. До виходу навантаження контролера підключені кабелі до роутера. Контролер захищає ці лінії від перевантаження і короткого замикання.
4. USB-зарядка. Два вбудованих USB-порти (5 В, до 2.5 А кожен) дозволяють заряджати мобільні пристрої безпосередньо від контролера. Ця функція активна незалежно від стану мережі – за умови що акумулятор заряджений, або сонячні панелі генерують електроенергію.
5. Моніторинг. РК-дисплей контролера відображає поточну напругу акумулятора, струм заряду від панелі, стан навантаження, що дозволяє відстежувати стан системи в режимі реального часу.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі ці функції є ключовими для функціонування всієї системи.

Акумулятор – накопичувач і головна батарея енергії для всіх резервних ланцюгів системи. Він одночасно підключений до контролера (для заряду) і до майже всіх ліній споживачів (для розряду). Вбудована BMS батарея контролює ці процеси незалежно від контролера і є другим рівнем захисту – відключення від споживачів при критичних режимах роботи станеться навіть в тому випадку, якщо контролер чомусь вийшов з ладу.

Напруга батареї залишається практично стабільною протягом більшої частини циклу розряду (в межах 12.8-13.2 В), що забезпечує стабільне живлення всіх DC-DC перетворювачів без суттєвих коливань.

2.3 Ланцюги постійного струму

До виходу навантаження акумулятора підключена одна з груп світлодіодних стрічок (12 В), яка підключена до нього через Вимикач резервного освітлення. Ця група живиться напругу від акумулятора без будь-яких додаткових перетворювачів, через сумісність 12 В стрічок з акумуляторною напругою (ті ж 12 В).

LED стрічки підключені до акумулятора через Вимикач резервного освітлення. Цей вузол відстежує наявність напруги 220 В у звичайній мережі живлення. У штатному режимі (мережа є) – коло від акумулятора до стрічок розімкнене, і приміщення освітлюються звичайним мережевим освітленням від простих ламп освітлення. У момент зникнення мережі, – вимикач автоматично замикає коло живлення стрічок від акумулятора, і резервне освітлення вмикається миттєво. Умовою роботи є те, що основні настінні вимикачі у приміщеннях мають бути увімкнені, аби якщо світло зникне вдень або вночі, коли всі сплять, стрічки даремного не витрачали енергію акумулятора. Детальний опис схеми вимикача наведено у Розділі 3.

Ноутбук потребує напруги 19 В, яка перевищує напругу акумулятора чи контролера. Підключати його до контролера через перетворювач можливо, але не

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завжди доцільно, адже ноутбук споживає близько 65 Ватт, при максимумі в 120 Ватт контролера. Тому між акумулятором і ноутбуком встановлений підвищувальний DC-DC перетворювач (12/19 В), що піднімає напругу з 12 В до 19 В при максимальному струмі 6 А. Максимальна вихідна потужність перетворювача (114 Вт) перевищує споживання ноутбука (65 Вт), забезпечуючи необхідний запас для його стабільної роботи. Ноутбук може підключатися як до виходу перетворювача, так і до штатного мережевого блока живлення, що дозволяє заряджати ноутбук як від звичайної мережі, так і резервної, в залежності від нагальних потреб.

Роутер TP-Link Archer C20 у штатному режимі живиться від мережі 220 В через штатний мережевий адаптер. При зникненні мережі Вимикач роутера перемикає джерело живлення на знижувальний DC-DC перетворювач LM2596S, який понижує напругу акумулятора (12.8 В) до необхідних 9. Перемикання відбувається автоматично і без переривання роботи роутера, за допомогою Вимикача роутера, детальний опис схеми якого наведений у Розділі 3. Завдяки цьому, зникнення інтернету при зникненні електромережі не відбувається.

Термінал ONU Picotel PU-X910 споживає не більше 3 Вт при напрузі 12 В (зазначено в його специфікаціях). У штатному режимі він живиться від мережі 220 В через звичайну мережу. При зникненні мережі Вимикач терміналу інтернету автоматично перемикає живлення терміналу на акумулятор напряму (12 В), завдяки чому оптоволоконне підключення до інтернету не переривається одночасно зі зникненням світла, як і у роутера. Детальний опис схеми вимикача наведений у Розділі 3.

2.4 Ланцюг змінного струму через інвертор (12 В – 220 В)

Між акумулятором та інвертором 12/220 В прокладений силовий кабель перерізом 6 мм² через запобіжник F2 номіналом 150 А. Це найпотужніший ланцюг системи: при потужності інвертора 2000 Вт та ККД 90% максимальний робочий струм від акумулятора становить близько 174 А:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I = \frac{P}{U * n} = \frac{2000}{12,8 * 0,9} = 174 \text{ A}$$

Запобіжник F2 захищає кабель від струмів короткого замикання, які можуть бути значно вищими. Розташування F2 якомога ближче до клем акумулятора є обов'язковою вимогою безпеки – щоб у разі КЗ не згорів незахищений кабель між акумулятором і запобіжником.

Інвертор потужністю 2000 Вт перетворює постійний струм акумулятора (12 В) на змінний струм 220 В з частотою 50 Гц. Критично важлива характеристика – форма вихідного сигналу є чистою синусоїдою, як вже зазначалося вище, включно з його деталями роботи.

У штатному режимі при наявності мережі інвертор вимкнений, і споживачі групи Б живляться безпосередньо від мережі 220 В. Інвертор вмикається вручну при зникненні мережевого живлення, за потреби в цьому.

Холодильник підключений до виходу інвертора і споживає номінально 100 Вт у робочому режимі. Це однак номінальне, але не реальне споживання, адже воно становить близько 30% від основного часу його роботи. Тобто в реальності він споживатиме близько 35 Ватт. Однак слід враховувати, що при запуску компресора виникає короткочасний пусковий струм, що у 3-5 разів перевищує номінальний. Потужність інвертора 2000 Вт забезпечує значний запас для коректного запуску без спрацювання захисту.

Насос підключений до виходу інвертора і в максимальному режимі споживає 100 Вт. Наявність трьох режимів роботи дозволяє при необхідності зменшити споживання і таким чином продовжити час автономної роботи системи в зимовий період. Як і холодильник, насос потребує чистої синусоїди через наявність електродвигуна, і може житися як через штатну, так і аварійну системи.

Група світлодіодних стрічок підключена до виходу інвертора (220 В). Ці стрічки живляться виключно від резервного живлення, і активні лише при

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увімкненому інверторі, що виключає роботу цього освітлення не в аварійному режимі.

2.5 Сценарії роботи системи

2.5.1 Штатний режим (мережа 220 В присутня, день)

При наявності мережевого живлення та значного сонячного світла система працює наступним чином:

- Холодильник і насос опалення живляться від мережі 220 В напряду, інвертор вимкнений;
- Роутер живиться від звичайної мережі, вимикач роутера утримує DC-DC перетворювач відключеним;
- Оптиволоконний термінал живиться від мережі, вимикач терміналу утримує пряме підключення від акумулятора відключеним;
- Звичайне освітлення (мережеве) ввімкнене, вимикач резервного освітлення утримує ланцюг LED стрічок від акумулятора розімкненим;
- Ноутбук живиться від звичайної мережі освітлення, споживання від резервної мережі відсутнє;
- Сонячна панель через контролер заряджає акумулятор до оптимальних значень;
- USB-порти контролера доступні для зарядки телефонів за потреби.

Простими словами – резервна система знаходиться в сплячому режимі й просто заряджається через сонячні панелі.

2.5.2 Штатний режим (мережа присутня, ніч або хмарно)

Все те саме, що і в Сценарії 1, але сонячна панель не генерує струм. Контролер відключає панель від акумулятора і запобігає зворотному розряду. Акумулятор повільно розряджається, але оскільки це вкрай незначне навантаження – запасу вистачає надовго.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В крайньому випадку, акумулятор можна заряджати від звичайної мережі через спеціальний пристрій заряджання цього акумулятора.

2.5.3 Аварійний режим (мережа 220 В відсутня, день)

При зникненні мережевого живлення відбуваються наступні переключення:

- Вимикач резервного освітлення автоматично замикає коло LED стрічок від акумулятора – якщо лампочки працювали, освітлення продовжує роботу без перерви;
- Вимикач роутера автоматично підключає LM2596S – роутер продовжує роботу від акумулятора без перерви;
- Вимикач терміналу автоматично підключає термінал до акумулятора напругу – інтернет-з'єднання не переривається;
- Вручну потрібно вмикати інвертор 12/220 В – холодильник і насос опалення переходять на живлення від акумулятора;
- Ноутбук можна підключити до резервної мережі живлення;
- Сонячна панель продовжує заряджати акумулятор, частково компенсуючи споживання навантаження.

2.5.4 Аварійний режим (мережа відсутня, ніч)

Аналогічно Сценарію 3, але без підзарядки від панелі. Акумулятор живить усіх споживачів виключно із власного запасу енергії. Час автономної роботи залежить від складу увімкненого навантаження, розрахунки чого наведені у Розділі 4.

2.6 Одночасна робота заряду і живлення навантаження

Система може одночасно заряджати акумулятор від сонячних панелей та живити прилади від того ж акумулятора та контролера.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фактичний струм заряду або розряду в такому режимі визначається різницею між струмом від панелі та струмом споживання навантаження. Якщо панель дає більше ніж споживає акумулятор, йде заряджання. Якщо менше, розряджання. Якщо приблизно однаково, система стабільна й врівноважена.

Наприклад, у денний час при сонячній погоді панелі генерують близько 400 Вт. Якщо в цей момент активне навантаження складає 50 Вт (роутер + термінал + LED), то 350 Вт іде на заряд акумулятора. Якщо ж увімкнений інвертор з насосом і холодильником (200 Вт), а через хмарну погоду панелі генерують лише 200 Вт енергії, то панелі повністю покривають це навантаження і акумулятор практично не розряджається. Зведена таблиця споживачів живлення наведена нижче.

Таблиця 2.1. Зведена таблиця споживачів живлення

Споживач	Споживання	Штатний режим	Резервний режим	Перемикання
LED	144 Вт	–	Акумулятор	Автоматично
Ноутбук	65 Вт	Штатна мережа	Акумулятор – DC-DC 12/19 В	Вручну
Роутер	5.4 Вт	Штатна мережа	Акумулятор – LM2596S 12/9 В	Автоматично
Термінал інтернета	3 Вт	Штатна мережа	Акумулятор напряду 12 В	Автоматично
Холодильник	Номінально 100 Вт, Реально 30%	Мережа 220 В	Акумулятор – Інвертор 220 В	Вручну
Насос опалення	до 100 Вт	Мережа 220 В	Акумулятор – Інвертор 220 В	Вручну
Зарядка телефонів (USB)	до 25 Вт	USB контролера (5 В)	USB контролера (5 В)	Відсутнє

РОЗДІЛ 3. СХЕМА ВИМИКАЧІВ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ

3.1 Загальна задача вимикачів резервного живлення

Для цієї роботи, були з нуля розраховані та створені певні схеми, задачею яких є автоматичне підключення приладів до резервного живлення. Зроблено це по тій причині, що їх аналоги на ринку стоять дорого, і можуть йти зі специфічними функціями, часто просто не потрібними для подібної схеми, але збільшуючи ми ціну.

У системі резервного живлення використовуються три такі схеми автоматичного перемикавання:

- Вимикач резервного освітлення – при зникненні мережі автоматично підключає LED стрічки до акумулятора;
- Вимикач роутера – при зникненні мережі автоматично підключає роутер до DC-DC перетворювача LM2596S, що живиться від акумулятора;
- Вимикач терміналу інтернету – аналогічний вимикачу роутера по функції та схемі, але робить це для оптоволоконного терміналу ONU.

Всі три схеми вирішують одну задачу: виявити зникнення напруги 220 В і миттєво замкнути резервне коло живлення від акумулятора. Важливо те, що це виконується саме миттєво.

Також, принципово важливо забезпечити гальванічну розв'язку між колом мережі 220 В і колом акумулятора 12 В – тобто між ними не повинно бути прямого електричного контакту, щоб потенціал небезпечної мережевої напруги не потрапив у низьковольтну частину схеми.

Вимикач резервного освітлення і вимикачі роутера та терміналу вирішують цю задачу різними способами. Якими саме, показано в розділах нижче.

3.2 Вимикач резервного освітлення

Схема вимикача резервного освітлення представлена нижче:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

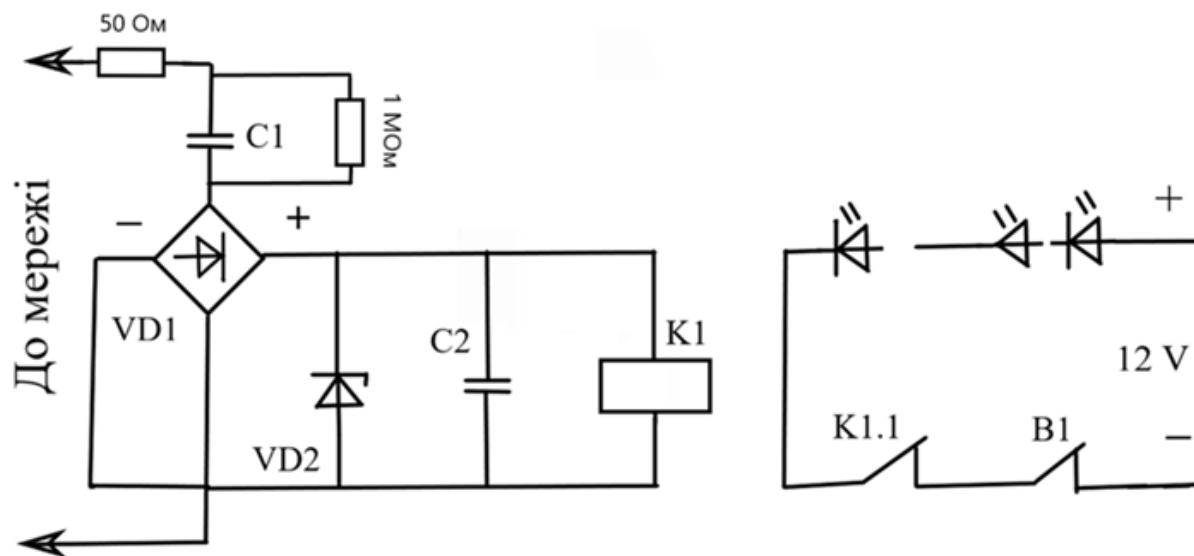


Схема 3.1. Схема вимикача резервного освітлення

Дана схема складається з двох частин:

Ліва – вузол детектування мережі: вона підключена до мережі 220 В, і відстежує наявність напруги та керує реле.

Права – резервне коло: ця частина підключена до акумулятора 12 В, і замикає ланцюг живлення LED стрічок при спрацюванні реле.

Ці дві частини з'єднані виключно через контакти реле – механічно, без електричного контакту між мережевою і низьковольтною частинами схеми. Це й забезпечує гальванічну розв'язку для схеми.

Резистор R1 (50 Ом) включений послідовно з конденсатором C1 і мережею. Його призначення – захист діодного моста VD1 від кидка струму заряду в момент увімкнення в мережу. У перший момент підключення конденсатор C1 є повністю розрядженим – без R1 через міст протікав би короткочасний, але дуже великий струм, здатний пробити діоди. Резистор обмежує цей кидок до безпечного рівня. Оскільки R1 включений послідовно з гасячим конденсатором, у робочому режимі він практично не впливає на падіння напруги (основне обмеження струму здійснює C1).

Конденсатор C1 (гасячий, тип X2) є головним елементом вузла живлення реле. Конденсатор включений послідовно з мережею і виконує роль гасячого

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реактивного опору: він обмежує струм через схему без виділення тепла – на відміну від резистора, конденсатор не розсіює потужність, а лише зміщує фазу струму відносно напруги.

X2 – це плівковий конденсатор, спеціально сертифікований для постійного підключення безпосередньо до мережі змінного струму 250-275 В. Використання будь-якого іншого типу – електролітичного, керамічного, звичайного плівкового без відповідного класу – марне, оскільки ці конденсатори не витримують тривалої дії мережевої напруги і можуть вибухнути або спалахнути, що є порушенням техніки безпеки і просто зводить функціональність схеми нанівець.

Резистор R2 (1 МОм) підключений паралельно конденсатору C1. Його роль – розрядний резистор: після вимкнення схеми з мережі конденсатор C1 залишається зарядженим до напруги близько 310 В (пікове значення мережі). Якщо до роз'ємів доторкнутися або від'єднати схему, можна отримати удар струмом. Резистор 1 МОм повільно розряджає конденсатор після відключення – час розряду становить кілька секунд, після чого напруга на C1 спадає до безпечного рівня. При номіналі 1 МОм резистор споживає дуже малу кількість струму у робочому режимі і жодним чином не впливає на роботу схеми.

Діодний міст VD1 – це чотири діоди, з'єднані мостовою схемою, які виконують двопівперіодне випрямлення: перетворюють змінний струм після конденсатора C1 на пульсуючий постійний струм. Незалежно від полярності напівхвилі мережі, на виході моста завжди позитивний полюс зверху і від'ємний знизу.

Стабілітрон VD2 підключений паралельно до виходу моста і котушки реле. Він виконує роль стабілізатора напруги, обмежуючи напругу на котушці реле K1 на рівні пробою стабілітрона незалежно від того, яку напругу видає гасячий конденсатор. Без стабілітрона напруга після випрямлення могла б перевищити допустиму для котушки реле, що призвело б до її перегріву і виходу з ладу. Стабілітрон прибирає надлишок напруги, підтримуючи стабільне живлення.

Конденсатор C2 підключений паралельно до котушки реле, виконуючи роль згладжувального фільтра: випрямлений струм після моста VD1 має значні

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пульсації з частотою 100 Гц. Без фільтрації котушка реле отримувала б змінний за амплітудою струм, що призводило б до характерного шуму і вібрації якоря реле. Конденсатор С2 накопичує заряд у піковий момент і віддає його в момент спаду, вирівнюючи напругу і забезпечуючи стабільне утримання реле у притягнутому стані.

Реле К1 це електромеханічний елемент – серце схеми вимикача освітлення. Котушка реле К1 отримує стабілізоване живлення 12 В від вузла детектування доки мережа присутня. Всередині реле знаходиться електромагніт, який при протіканні струму через котушку притягує якір і утримує його. З якорем механічно пов'язана група контактів.

Ця логіка є ключовою для роботи схеми. Якщо мережа є, тоді котушка під напругою і контакт розімкнений, отже резервне коло відключене. Мережа зникла, котушка знеструмлена, пружина миттєво замикає контакт і резервне коло підключене.

Контакт К1.1 є нормально закритим (NC – Normally Closed), тобто коли струму в котушці немає, контакт замкнений пружиною. Коли до котушки потрапляє електроенергія – електромагніт розмикає пружину і цей контакт. При зникненні струму механічна пружина реле закриває контакт. Струм від акумулятора 12 В отримує шлях до LED стрічок.

Вимикач В1 – ручний вимикач, включений послідовно з контактом К1.1. Він дозволяє вручну відключити резервне освітлення навіть при спрацьованому реле – наприклад, коли резервне освітлення не потрібне вночі під час відключень, або для економії заряду акумулятора. Без В1 після спрацювання реле стрічки вмикалися б безумовно у всіх кімнатах де є основний вимикач при зникненні світла, що непрактично і неефективно.

Настінний вимикач 220 В (основний) на схемі не показаний, але є частиною логіки: для того щоб резервне освітлення увімкнулося при зникненні мережі, основний настінний вимикач у приміщенні має бути у положенні «увімкнено». Якщо вимикач вимкнений – мережеве освітлення не горить і резервне теж не горить.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Світлодіодні стрічки (навантаження) три групи LED стрічок що підключені до схеми. При замиканні контакту K1.1 і B1 струм від акумулятора протікає через стрічки і вони починають світити.

Коли мережа присутня, є напруга 220 В, то через R1 і C1 тече обмежений струм, що випрямляється мостом VD1, стабілітрон VD2 обмежує його до 12 В, конденсатор C2 згладжує пульсації, котушка K1 знаходиться під напругою, електромагніт притягує якір, контакт K1.1 розмикається, резервне коло від акумулятора відключається і як наслідок LED стрічки від акумулятора не горять.

Якщо мережа зникає, напруга 220 В стає рівною 0, струм через котушку K1 теж стає рівним 0, електромагніт відпускає якір, пружина реле миттєво повертає контакт K1.1 у замкнений стан, струм від акумулятора 12 В тече через K1.1 і B1 до LED стрічки, і ті миттєво вмикаються.

Якщо ж мережа відновлюється, то і напруга 220 В відновлюється, котушка K1 знову під напругою, електромагніт притягує якір, контакт K1.1 розмикається, резервне живлення LED стрічок відключається і освітлення переходить назад на мережеве запалюючи звичайні лампочки й гасячи стрічки.

Весь цикл перемикавання при зникненні мережі займає мілісекунди – час визначається механічною інерцією якоря реле і швидкістю розряду C2. Через це, світло фактично не зникає при зникненні електрики в мережі.

3.3 Вимикач роутера та вимикач терміналу інтернету

Вимикач роутера (а також аналогічний йому вимикач терміналу ONU) виконує ту саму базову задачу що й вимикач резервного освітлення – виявити зникнення мережі і підключити резервне живлення – але реалізує її інакше. Замість електромеханічного реле використовується повністю електронна схема на основі оптопар, компаратора і польового транзистора. Його схема представлена нижче:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

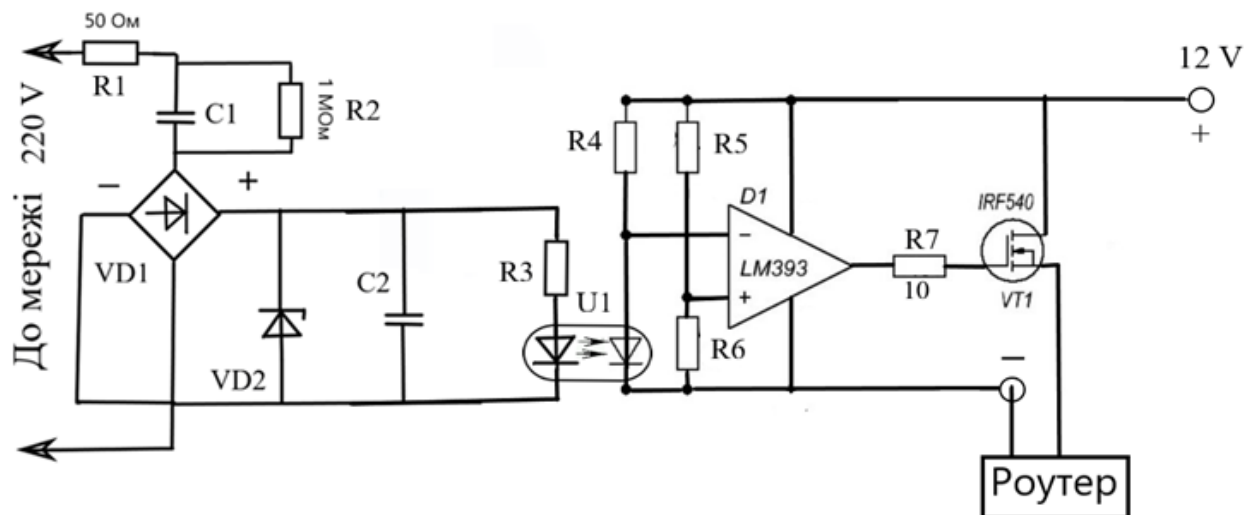


Схема 3.2. Схема вимикача роутера

Причина вибору такого рішення полягає в характері навантаження: роутер і термінал – чутливі за своє суттю, і потребують стабільної та точно контрольованої напруги (9 і 12 В). Для такого навантаження електронний ключ є більш надійним рішенням: він не має механічних деталей, що зношуються, не іскрить при комутації та забезпечує більш плавне і кероване відкриття.

Ліва частина схеми вимикача роутера побудована за тим самим принципом що і ліва частина вимикача освітлення, і містить ті самі елементи з тими самими функціями:

- R1 (50 Ом) – захист від кидка струму при підключенні до мережі;
- C1 (тип X2) – гасячий конденсатор, обмежує струм через схему реактивним опором;
- R2 (1 МОм) – розрядний резистор для безпечного розряду C1 після відключення від мережі;
- VD1 – діодний міст, двопівперіодне випрямлення змінного струму;
- VD2 – стабілітрон, обмежує та стабілізує напругу після випрямлення;
- C2 – згладжує пульсації після випрямлення.

На відміну від схеми освітлення, де ця напруга живила котушку реле – тут вона живить оптопару U1 через резистор R3.

Резистор R3 – включений послідовно із світлодіодом оптопари U1. Він обмежує струм через світлодіод до безпечного робочого рівня. Без нього надмірний струм спалив би світлодіод оптопари.

Оптопара – це прилад, в якому в одному корпусі вміщені інфрачервоний світлодіод і фотоприймач, що оптично пов'язані між собою, але повністю електрично ізольовані.

Коли через світлодіод оптопари протікає струм – він випромінює інфрачервоне світло всередині корпуса, фотоприймач реагує на це світло і відкривається, пропускаючи струм у колі. Коли струм через світлодіод відсутній – фотоприймач закритий.

У даній схемі:

- Вхідна (мережева) сторона оптопари: через R3 підключена до випрямленої і стабілізованої напруги від вузла детектування. Поки мережа є – через світлодіод оптопари тече струм, він світить і фотоприймач відкритий.
- Вихідна (низьковольтна) сторона оптопари: включена в коло компаратора і живиться від акумулятора 12 В. Стан фотоприймача (відкритий/закритий) передає інформацію про наявність мережі в низьковольтну частину схеми.

Таким чином, між мережею 220 В і колом акумулятора 12 В немає жодного електричного контакту – інформація передається лише через світло, що повністю виключає можливість потрапляння мережевого потенціалу на роутер або термінал.

LM393 – це мікросхема подвійного компаратора напруги. Компаратор порівнює напруги на двох своїх входах: інвертуючому «-» і неінвертуючому «+», і залежно від результату порівняння формує вихідний сигнал.

Якщо напруга на «+» вході більша, ніж на «-» вході – вихід компаратора відкривається. Якщо навпаки – вихід закривається.

Подільники напруги R4, R5, R6:

- R4 і R5 утворюють дільник напруги на «-»вході компаратора. Через R4 також підключена вихідна сторона оптопари. Коли мережа присутня і

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптопара відкрита, вона зменшує напругу в точці між R4 і R5, й на «—» вході встановлюється низьке значення.

- R6 підключений до «+» (неінвертуючого) входу і формує опорну напругу – фіксований рівень для порівняння.

При наявності мережі оптопара відкрита, це знижує напругу на «—» вході, напруга на «—» стає нижчою за опорну на «+», вихід компаратора відкривається, транзистор VT1 закритий і роутер не отримує живлення від акумулятора.

При відсутності мережі, оптопара замкнута, тоді напруга на «—» вході підвищується через R4 і R5, напруга на «—» перевищує опорну на «+», вихід компаратора закривається, транзистор VT1 відкривається і роутер отримує живлення від акумулятора.

IRF540 – це N-канальний польовий транзистор з ізольованим затвором (MOSFET). На відміну від біполярних транзисторів, польовий транзистор керується напругою на затворі, а не струмом – тому він практично не навантажує вихід компаратора.

Характеристика IRF540 дозволяє комутувати значні струми (до 33 А) при низькому опорі відкритого каналу, що забезпечує мінімальні втрати напруги на ключі. Для роутера (0.6 А) та терміналу (0.25 А) цього вистачить з великим запасом.

Резистор R7 (10 Ом) – включений між виходом компаратора і затвором транзистора. Він обмежує струм заряду ємності затвора і запобігає самозбудженню схеми при перемиканні – захищає вихід LM393 від перевантаження.

Принцип роботи транзисторного ключа:

- Вихід компаратора низький (мережа є), отже на затворі VT1 низька напруга, через що транзистор закритий, і ланцюг «акумулятор – VT1 – роутер, розімкнений.
- Вихід компаратора високий (мережа відсутня), на затворі VT1 напруга близько 12 В, транзистор повністю відкривається, струм від акумулятора 12 В вільно тече через VT1 до роутера (через DC-DC перетворювач LM2596S).

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коли мережа присутня, 220 В тече через R1, C1, випрямляється VD1 і стабілізується VD2, згладжується C2, який через R3 живить світлодіод оптопару U1, через що U1 відкрита, що знижує напругу на «–» вході LM393, «–» менше «+», через що вихід LM393 низький і на затворі VT1 низька напруга, й він закритий і роутер живиться від штатної мережі.

Коли мережа зникає, 220 В стає 0 і струм через U1 рівний 0, оптопара закривається і напруга на «–» вході LM393 зростає через що «–» стає більшим за «+» і вихід LM393 переходить у високий стан й тоді через R7 напруга на затворі VT1 зростає й VT1 повністю відкривається, а струм від акумулятора 12 В тече через VT1 до перетворювача LM2596S, стає рівним 9 В і роутер продовжує роботу.

Якщо мережа відновлюється до 220 В, U1 відкривається, LM393 перемикається, VT1 закривається і роутер переходить назад на живлення від штатної мережі.

Вимикач терміналу ONU Picotel PU-X910 є ідентичним за схемою до вимикача роутера. Відмінність полягає лише у навантаженні: замість роутера (9 В, 0.6 А) підключається термінал (12 В, 0.25 А). Оскільки термінал живиться напругу від 12 В акумулятора без додаткового перетворювача, вихід транзистора VT1 підключається безпосередньо до терміналу. Алгоритм роботи – повністю аналогічний.

Відмінності в підходах та результати зазначені в таблиці нижче.

Таблиця 3.1. Порівняння двох підходів до комутації

Характеристика	Вимикач освітлення (реле)	Вимикач роутера/терміналу (електронний)
Елемент комутації	Механічне реле K1	MOSFET транзистор IRF540
Гальванічна розв'язка	Механічні контакти реле	Оптопара U1
Наявність рухомих частин	Так (якір, пружина)	Ні

Зношування при комутації	Є (контакти іскрять)	Відсутнє
Струм навантаження	Великий (LED стрічки, 144 Вт)	Малий (роутер 5.4 Вт, термінал 3 Вт)
Складність схеми	Проста	Складніша (компаратор, оптопара)
Чутливість навантаження	Невибаглива (LED)	Чутлива мікроелектроніка

Реле обране для освітлення через простоту схеми і велике навантаження (144 Вт LED). Електронний ключ на MOSFET обраний для роутера і терміналу через їх чутливість до якості живлення і малі струми комутації, при яких переваги MOSFET проявляються найкраще.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

4.1 Перевірка компонентів на допустимі навантаження

Перш ніж розраховувати споживання та автономність, необхідно перевірити що кожен елемент системи працює в допустимих межах і не буде перевантажений при реальній експлуатації.

4.1.1 Кабель мідний 6 мм²

Максимально допустимий тривалий струм для мідного кабелю перерізом 6 мм² становить 50-55 А при прокладанні у відкритому повітрі та 40-45 А при прокладанні у трубі.

Розглянемо реальні струми в кожній лінії системи:

Лінія «Панелі – Контролер»: максимальний струм двох панелей паралельно:

$$I_{\text{панелі}} = \frac{2 * 200}{18} = 22,2 \text{ А} < 50 \text{ А}$$

Лінія «Акумулятор–Інвертор» при практичному навантаженні (холодильник 100 Вт + насос 100 Вт = 200 Вт):

$$I_{\text{панелі}} = \frac{200}{12,8 * 0,9} = 17,4 \text{ А} < 50 \text{ А}$$

Важливо: при теоретичному максимальному навантаженні інвертора (2000 Вт) струм від акумулятора становив би

$$I = \frac{2000}{12,8 * 0,9} = 174 \text{ А}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що значно перевищує допустимий струм кабелю 6 мм². Однак у реальній системі максимальне навантаження на інвертор складає лише 200 Вт (холодильник + насос), тому кабель 6 мм² є цілком достатнім для фактичних умов експлуатації.

4.1.2 Запобіжник F1 (30 А)

Максимальний струм від двох паралельних панелей: 22.2 А

Запас по номіналу запобіжника:

$$KF1 = \frac{30}{22,2} = 1,35, \text{ отже запас } 35\%$$

Запобіжник не спрацює при нормальній роботі, але надійно захистить лінію при короткому замиканні.

4.1.3 Запобіжник F2 (150 А)

При практичному навантаженні інвертора (200 Вт):

$$I_{\text{практ}} = 17,4 \text{ А} < 150 \text{ А}$$

Запобіжник F2 не обмежує роботу і спрацює лише при аварійному короткому замиканні у силовому ланцюзі інвертора. Номінал 150 А обраний з урахуванням можливого пускового струму при великих навантаженнях і забезпечує надійний захист кабелю.

4.1.4 Контролер заряду KW1230

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний допустимий струм заряду контролера: 30 А

Фактичний струм від двох панелей: 22.2 А

$22,2 \text{ А} < 30 \text{ А}$, отже запас 26%

Контролер працює в допустимому діапазоні з комфортним запасом.

4.1.5 DC-DC підвищувальний перетворювач (12-19 В)

Максимальна вихідна потужність перетворювача:

$$P_{\text{макс}} = U_{\text{вих}} * I_{\text{макс}} = 19 * 6 = 114 \text{ Вт}$$

Споживання ноутбука 65 Вт. 65 Вт менше 114 Вт. Отже перегріву чи нестачі потужності не відбувається.

4.1.6 DC-DC знижувальний перетворювач LM2596S (12-9 В)

Максимальний вихідний струм: 3 А

Споживання роутера: 0.6 А

0,6 А менше 3 А, отже перетворювач практично не навантажений.

4.1.7 Інвертор 2000 Вт

Холодильник і насос мають електродвигуни, які при запуску споживають пусковий (кидковий) струм – короткочасний, але значно вищий за номінальний. Для компресора холодильника він зазвичай становить 3-5 номінальних значень, для насоса – 2–3.

Максимальний пусковий струм:

$$\text{Холодильник: } P_{\text{пуск}} = 4 * 100 = 400 \text{ Вт}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насос: $P_{\text{пуск}} = 3 * 100 = 300 \text{ Вт}$

Разом (при одночасному запуску): до 700 Вт

700 Вт менше 2000 Вт, отже інвертор витримує пускові струми обох пристроїв навіть при одночасному запуску із суттєвим запасом.

Таблиця 4.1. Загальні споживання компонентів споживання

Елемент	Параметр	Допустимо	Фактично	Запас
Кабель 6 мм ²	Струм	50 А	22.2 А (панелі) / 17.4 А (інвертор)	>100%
F1 (30 А)	Струм	30 А	22.2 А	35%
F2 (150 А)	Струм	150 А	17.4 А	>700%
Контролер KW1230	Струм заряду	30 А	22.2 А	26%
DC-DC 12/19 В	Потужність	114 Вт	65 Вт	75%
LM2596S	Струм	3 А	0.6 А	400%
Інвертор 2000 Вт	Пуск. потужність	2000 Вт	~700 Вт	185%

Отже, розрахунки показують що схема працює, і проблем не спостерігається.

4.2 Реальне споживання від акумулятора

Пристрої що підключаються через перетворювачі напруги споживають від акумулятора більше, ніж їх номінальна потужність – через втрати в самому перетворювачі. Реальне споживання від акумулятора розраховується з урахуванням ККД кожного перетворювача:

$$P_{\text{акум}} = \frac{P_{\text{номін}}}{\eta}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2. Загальні споживання компонентів споживачів

Пристрій	Напруга	Номінальна потужність	Перетворювач	ККД	Реальне споживання від акумулятора
LED стрічки	12 В (пряме)	144 Вт	–	100%	144 Вт
Ноутбук	19 В	65 Вт	DC-DC 12/19В	87%	74.7 Вт
Роутер	9 В	5.4 Вт	LM2596S	92%	5.9 Вт
Термінал ONU	12 В (пряме)	3 Вт	–	100%	3 Вт
Холодильник*	220 В	100 Вт (середн. 35 Вт)	Інвертор	90%	111 Вт / 38.9 Вт середн.
Насос опалення	220 В	100 Вт	Інвертор	90%	111 Вт
USB-зарядка (2 тел.)	5 В	до 25 Вт	Вбудований у контролер	80%	до 31 Вт

*Холодильник. Компресор холодильника не працює безперервно – він вмикається і вимикається за термостатом. Середній час роботи компресора складає близько 30-40% від загального часу. Для розрахунків приймаємо 35%, тобто середня потужність споживання від акумулятора: 38.9 Вт замість 111 Вт.

4.3 Розрахунок енергоспоживання та автономності по сезонах

Дві панелі по 200 Вт це 400 Вт пікової потужності.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З урахуванням системних втрат (втрати в проводах, ККД контролера ~93%, запилення панелей, температурні втрати) застосовується коефіцієнт ефективності $\eta_{\text{сист}} = 0.85$.

Добова генерація енергії:

$$E_{\text{ген}} = P_{\text{пк}} * PSH * \eta_{\text{сист}} = 400 * PSH * 0.85$$

Таблиця 4.3. Вироблення електроенергії від панелей в рік

Сезон	PSH для Києва	Добова генерація
Зима	1.7 год	578 Вт*год
Весна / Осінь	3.8 год	1292 Вт*год
Літо	5.5 год	1870 Вт*год

* PSH – це години ефективної генерації електроенергії з сонячних панелей, які різняться від пори року та місцевості.

Ємність акумулятора з урахуванням рекомендованої глибини розряду 80%:

$$E_{\text{акум}} = 1280 * 0.8 = 1024 \text{ Вт}$$

4.3.1 Зима

У зимовий період першочерговими потребами є освітлення та опалення. Холодильник взимку менш критичний – у випадку тривалого відключення його можна тимчасово не підключати.

Таблиця 4.4. Споживання електроенергії взимку

Пристрій	Реальна потужність	Час роботи на добу	Добове споживання
LED стрічки	144 Вт	7 год (довгі ночі)	1008 Вт*год

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насос опалення	111 Вт	14.4 год (60% з 24 год)	1598 Вт*год
Роутер	5.9 Вт	24 год	141.6 Вт*год
Термінал ONU	3 Вт	24 год	72 Вт*год
Холодильник (середн.)	38.9 Вт	24 год	933.6 Вт*год
Ноутбук	74.7 Вт	4 год	299 Вт*год
Разом	—	—	4052 Вт*год

Добовий баланс:

$$\Delta E_{\text{зима}} = 578 - 3118 = -3474 \text{ Вт (дефіцит)}$$

Час автономної роботи від акумулятора (без сонця):

При повному навантаженні (всі пристрої):

$$t_{\text{авт}} = \frac{1024}{3474/24} = \frac{1024}{144,8} = 7,1 \text{ год}$$

При мінімальному навантаженні (лише роутер + ONU + LED 5 год):

$$P_{\text{мін}} = 141,6 + 72 + 144 * 5 = 933,6 \text{ Вт\добу}$$

$$t_{\text{авт}_{\text{мін}}} = \frac{1024}{\frac{933,6}{24}} = \frac{1024}{38,9} = 26 \text{ год}$$

Час автономної роботи від акумулятора (з сонцем):

При повному навантаженні (всі пристрої):

$$t_{\text{авт}} = \frac{1024 + 578}{3118/24} = \frac{1602}{129,9} = 12,3 \text{ год}$$

При мінімальному навантаженні (лише роутер + ONU + LED 5 год):

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\min}=141,6 + 72 + 144 * 5 = 933,6 \text{ Вт\добу}$$

$$t_{\text{авт}_{\min}} = \frac{1024 + 578}{\frac{933,6}{24}} = \frac{1602}{38,9} = 41,2 \text{ год}$$

Зима є найважчим сезоном для системи. Насос опалення і холодильник є домінуючими споживачами і суттєво скорочують час автономності. Панелі покривають лише п'яту частину добового споживання при повному навантаженні. При мінімальному навантаженні (без насоса і холодильника) акумулятора вистачає більш ніж на добу, а панелі частково компенсують споживання.

4.3.2 Весна та Осінь

Насос опалення може бути активним у міжсезоння (особливо осінь), холодильник підключений.

Таблиця 4.5. Споживання електроенергії зимою та осінню

Пристрій	Реальна потужність	Час роботи на добу	Добове споживання
LED стрічки	144 Вт	5 год	720 Вт*год
Насос опалення	111 Вт	7.2 год (30% з 24)	799 Вт*год
Холодильник (середн.)	38.9 Вт	24 год	933.6 Вт*год
Роутер	5.9 Вт	24 год	141.6 Вт*год
Термінал ONU	3 Вт	24 год	72 Вт*год
Ноутбук	74.7 Вт	4 год	299 Вт*год
Разом			2965 Вт·год

Без насоса (тепла весна):

$$E_{\text{весна-без-насоса}} = 720 + 933,6 + 141,6 + 72 + 299 = 2166 \text{ Вт}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З насосом (холодна осінь):

$$E_{\text{осінь-з-насосом}} = 720 + 933,6 + 141,6 + 72 + 299 + 799 = 2965 \text{ Вт}$$

Добовий баланс:

$$\Delta E_{\text{весна}} = 1292 - 2166 = -874 \text{ Вт (дефіцит без насоса)}$$

$$\Delta E_{\text{осінь}} = 1292 - 2965 = -1673 \text{ Вт (дефіцит з насосом)}$$

Час автономної роботи (без сонця):

$$\text{Без насоса: } t = \frac{1024}{2166/24} = \frac{1024}{90,25} = 11,4 \text{ год}$$

$$\text{З насосом: } t = \frac{1024}{2965/24} = \frac{1024}{123,5} = 8,3 \text{ год}$$

Час автономної роботи (з сонцем):

$$\text{Без насоса: } t = \frac{1024 + 1292}{2166/24} = \frac{2316}{90,25} = 25,7 \text{ год}$$

$$\text{З насосом: } t = \frac{1024 + 1292}{2965/24} = \frac{2316}{123,5} = 18,8 \text{ год}$$

Генерація панелей покриває значну частину потреб – близько половини залежно від навантаження. Акумулятор забезпечує автономність від 8 до 11 годин, що перекидає типову тривалість відключення електроенергії.

4.3.3 Літо

Насос опалення вимкнений, бо це літо. Холодильник активніший через спеку. Ночі короткі – освітлення менш навантажене.

Таблиця 4.6. Споживання електроенергії літом

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристрій	Реальна потужність	Час роботи на добу	Добове споживання
LED стрічки	144 Вт	3 год (короткі ночі)	432 Вт*год
Холодильник (середн.)	38.9 Вт	24 год	933.6 Вт*год
Роутер	5.9 Вт	24 год	141.6 Вт*год
Термінал ONU	3 Вт	24 год	72 Вт*год
Ноутбук	74.7 Вт	4 год	299 Вт*год
Разом			1878 Вт*год

Добовий баланс:

$$\Delta E_{\text{літо}} = 1870 - 1878 = -8 \text{ Вт}$$

Система практично виходить на нульовий баланс – генерація двох панелей влітку майже повністю покриває добове споживання всіх підключених пристроїв. Акумулятор слугує буфером між днем (надлишок генерації) і ніччю (споживання без генерації).

Час автономної роботи вночі (без сонця, лише нічне навантаження):

Нічне навантаження (LED + роутер + ONU + холодильник):

$$P_{\text{ніч}} = 432 + 141,6 + 72 + 933,6 = 1579,2 \text{ Вт} \cdot \text{год за ніч (10 год)}$$

$$t_{\text{авт}} = \frac{1024}{\frac{1579,2}{10}} = \frac{1024}{157,9} = 6,5 \text{ год}$$

Вранці з відновленням генерації акумулятор починає заряджатись і до наступної ночі відновлюється до повної ємності.

Літо – найкращий режим роботи системи що очевидно. Панелі фактично забезпечують повну добову потребу в енергії, акумулятор забезпечує автономну

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботу протягом усієї ночі. Сам день триває довше, освітлення потрібно вмикати менше, а панелі заряджаються більше.

4.7. Зведена таблиця по сезонах

Параметр	Зима	Весна/Осінь	Літо
PSH (год)	1.7	3.8	5.5
Добова генерація (Вт*год)	578	1292	1870
Добове споживання – повне (Вт*год)	3118	2965	1878
Добовий баланс (Вт*год)	-2540	-1673	-8
Покриття генерацією (%)	19%	44%	~100%
Автономність від акумулятора – повне навантаження (год)	7.9	8.3	6.5 (ніч)
Автономність – мінімальне навантаження (год)	26	11.4	–

4.4 Час заряду акумулятора від сонячних панелей

Ємність акумулятора що потребує заряду (80% DoD): 1024 Вт*год

Ефективна потужність заряду від двох панелей:

$$P_{\text{заряд}} = 400 * 0,85 = 340 \text{ Вт}$$

Перевірка контролера: максимальний струм заряду при напрузі 14.4 В:

$$I_{\text{заряд}} = \frac{340}{14,4} = 23,6 \text{ А що менше } 30 \text{ А (ліміт контролера)}$$

Необхідна кількість годин пікового сонця для повного заряду:

$$t_{\text{заряд}} = \frac{1024}{340} = 3,0 \text{ год пікового сонця}$$

Перерахунок у реальні дні:

Таблиця 4.8. Заряд акумулятора по сезонах

Сезон	PSH/добу	Днів до повного заряду
Зима	1.7 год	1,8 дня

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Весна / Осінь	3.8 год	0,8 дня
Літо	5.5 год	0,55 дня

Ці значення відповідають заряду порожнього акумулятора без підключеного навантаження. При одночасній роботі навантаження і заряду час збільшується пропорційно споживаній потужності.

Як висновок, можна зазначити що влітку та навесні акумулятор здатний повністю відновити заряд протягом одного сонячного дня навіть при підключеному мінімальному навантаженні. Взимку для повного заряду порожнього акумулятора без навантаження потрібно близько двох ясних зимових днів, що є прийнятним результатом для резервної системи.

4.5 Розрахунок елементів схеми вимикача резервного освітлення

4.5.1 Вихідні умови

Схема живиться від мережі 220 В АС, 50 Гц. Задача лівої частини Схеми 3.1 – отримати стабілізовані 12 В DC для живлення котушки реле. Приймаємо струм спрацювання типового реле на 12 В: $I_{\text{реле}} = 30 \text{ мА}$ (типове значення).

4.5.2 Розрахунок гасячого конденсатора С1

Гасячий конденсатор є баластним елементом – він обмежує струм через схему своїм реактивним опором без виділення тепла.

Реактивний опір конденсатора на частоті 50 Гц:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

Повний струм через схему визначається напругою мережі та сумарним опором ланцюга. Оскільки реактивний опір С1 значно перевищує всі активні опори схеми, струм через схему:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I = \frac{U_{\text{мережі}}}{X_c} = U * 2\pi f C$$

З цього виражаємо потрібну ємність під заданий струм реле 30 мА:

$$C1 = \frac{I}{U * 2\pi f} = \frac{0.03}{220 * 2\pi * 500} = \frac{0.03}{69115} = 0,434 \text{ мкФ}$$

Округлюємо до найближчого стандартного номіналу з рядом E24 у більший бік:

$$C1 = 0,47 \text{ мкФ, тип X2, 275 В AC}$$

Перевіряємо фактичний струм при $C1 = 0.47 \text{ мкФ}$:

$$I_{\text{факт}} = 220 * 2\pi * 50 * 0,47 * 10^{-6} = 220 * 147,8 * 10^{-6} = 32,5 \text{ мА}$$

$$I_{\text{факт}} = 220 * 0,0001478 * 10^3 * 10^{-3} = 32,5 \text{ мА}$$

32.5 мА – достатньо для впевненого спрацювання реле.

4.5.3 Розрахунок захисного резистора R1

R1 захищає діодний міст від кидка струму в момент підключення до мережі, коли C1 повністю розряджений.

Максимальний кидок струму без R1:

$$I_{\text{кидок}} = \frac{U_{\text{пик}}}{R_{\text{схеми}}} = \frac{220 * \sqrt{2}}{R_{\text{паразит}}} = \frac{311}{1} = 311 \text{ А}$$

Це руйнівний струм для діодів моста. R1 обмежує його:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R1 = \frac{U_{п\acute{и}к}}{I_{доп\acute{д}юда}}$$

Типовий допустимий імпульсний струм моста 1А (наприклад DB107): до 50 А. Приймаємо максимально допустимий кидок 1 А (з великим запасом):

$$R1 = 311/1 = 311 \text{ Ом}$$

Однак при $R1 = 311 \text{ Ом}$ він вносить помітне падіння напруги в робочому режимі при струмі 32.5 мА:

$$\Delta U_{R1} = 0,0325 * 311 = 10,1 \text{ В}$$

Це забагато – втрачаємо значну частину напруги. Знаходимо компроміс: приймаємо допустимий кидковий струм 5 А (безпечно для моста):

$$R1 = \frac{311}{5} = 62,2 \text{ Ом}$$

Падіння в робочому режимі: $\Delta U = 0,0325 * 62 = 2,0 \text{ В}$ – прийнятно.

Стандартний номінал:

$R1 = 68 \text{ Ом}$, потужність:

$$P = I^2 * R = 0,0325^2 * 68 = 0,072 \text{ Вт}$$

Найближчий стандартний номінал це 0,125 Вт.

4.5.4 Розрахунок розрядного резистора R2

R2 розряджає C1 після відключення від мережі до безпечної напруги (менше 42 В – поріг безпеки за стандартом).

Початкова напруга на C1 після відключення: $U_0 = 311 \text{ В}$ (пікова).

Закон розряду RC-ланцюга:

$$U(t) = U_0 * e^{-\frac{t}{RC}}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час безпечного розряду приймаємо $t = 2$ секунди (людина не встигне доторкнутись одразу після відключення):

$$42 = 311 * e^{-\frac{2}{R2C1}}$$

$$e^{-\frac{2}{R2 * 0.47 * 10^{-6}}} = \frac{42}{311} = 0.135$$

$$-\frac{2}{R2 * 0.47 * 10^{-6}} = \ln(0.135) = -2$$

$$R2 = \frac{2}{2 * 0.47 * 10^{-6}} = \frac{2}{9.4 * 10^{-6}} = 2.13 \text{ МОм}$$

Стандартний номінал (менший забезпечить швидший розряд):

$$R2 = 1 \text{ МОм}$$

Перевірка часу розряду при $R2 = 1 \text{ МОм}$:

$$t = -R2C1 * \ln\left(\frac{42}{311}\right) = -1 * 10^6 * 0.47 * 10^{-6} * (-2) = 0.47 * 2 = 0.94 \text{ с}$$

Менше секунди до безпечної напруги – прийнятний результат.

Потужність що розсіює $R2$ в робочому режимі (на ньому 311 В):

$$PR2 = \frac{U^2}{R} = \frac{311^2}{1 * 10^6} = 0.097 \text{ Вт}$$

Стандартний номінал 0,25 Вт.

4.5.5 Розрахунок стабілітрона VD2

Стабілітрон обмежує напругу на котушці реле до номінальної – 12 В.

Після діодного моста без стабілітрона напруга була б:

$$U_{\text{вип}} = U_{\text{пк}} - 2 * U_{\text{діод}} = 311 - 2 * 0,7 = 309,6 \text{ В}$$

Насправді $C1$ обмежує струм, тому напруга після моста при відсутності навантаження буде прагнути до пікового значення – стабілітрон необхідний.

VD2: стабілітрон на 12 В, як-от 1N4742A

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність що розсіює стабілітрон:

$$PVD2 = U_{\text{стаб}} * I = 12 * 0,0325 = 0,39 \text{ Вт, тобто мінімум } 0.5 \text{ Вт, отже беремо } 1 \text{ Вт}$$

4.5.6 Розрахунок згладжувального конденсатора C2

C2 фільтрує пульсації після випрямлення. Частота пульсацій двопівперіодного випрямлення: 100 Гц.

Допустима пульсація напруги на котушці реле: $\Delta U = 10\%$ від 12 В = 1.2 В.

$$C2 = \frac{I_{\text{реле}}}{2 * f * \Delta U} = \frac{0,0325}{2 * 100 * 1,2} = \frac{0,0325}{240} = 135 \text{ мкФ}$$

Стандартний номінал у більший бік: C2=220 мкФ, 25 В, електролітичний

При більшій ємності пульсації ще менші – реле працює стабільно без дзижчання.

Таблиця 4.9. Зведена таблиця елементів схеми 1

Елемент	Розрахункове значення	Обраний номінал	Тип / Примітка
C1	0.434 мкФ	0.47 мкФ	Плівковий X2, 275 В АС
R1	62.2 Ом	68 Ом	0.125 Вт мінімум, беремо 0.25 Вт
R2	2.13 МОм	1 МОм	0.25 Вт (розряд за ~1 с)
VD2	12 В стабілітрон	1N4742A	1 Вт
C2	135 мкФ	220 мкФ	Електролітичний, 25 В
K1	12 В, ≥ 30 мА	SRD-12VDC-SL-C	Реле 12 В, NC контакт, 10 А

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.6 Розрахунок елементів схеми вимикача роутера

Ліва частина схеми (C1, R1, R2, VD2, C2) – ідентична схемі вимикача освітлення, оскільки виконує ту саму функцію з тими самими вихідними умовами. Номінали всіх цих елементів – ті самі що в таблиці 4.9. вище

Розраховуємо лише елементи правої (електронної) частини.

4.6.1 Розрахунок R3 – струмообмежувальний резистор оптопари

Оптопара живиться від стабілізованих 12 В через R3. Типовий робочий струм світлодіода оптопари (наприклад PC817): $I_{LED} = 10 \text{ мА}$ (забезпечує надійне відкриття фотоприймача).

На самому світлодіоді падає напруга: $U_{LED} = 1.2 \text{ В}$.

$$R3 = \frac{U_{живл} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12 - 1,2}{0,01} = \frac{10,8}{0,01} = 1080 \text{ Ом}$$

Стандартний номінал:

$R3 = 1 \text{ кОм}$

Перевірка фактичного струму:

$$I_{LED_{факт}} = \frac{12 - 1,2}{1000} = 10,8 \text{ мА}$$

Потужність резистора:

$$P_{R3} = I^2 * R = 0,0108^2 * 1000 = 0,117 \text{ Вт, що стандартно } 0.25 \text{ Вт}$$

U1: PC817 – оптопара, I_{LED} до 50 мА, $U_{ізол} = 5000 \text{ В}$

4.6.2 Розрахунок дільників напруги R4, R5, R6 для компаратора LM393

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задача дільників: при відкритій оптопарі (мережа є) – напруга на «-» вході вища ніж на «+», компаратор тримає вихід низьким. При закритій оптопарі (мережа відсутня) – навпаки.

Крок 1. Опорна напруга на «+» вході (R6):

Приймаємо опорну напругу $U_{ref} = 6 \text{ В}$ (половина від 12 В – симетричний поріг):

$$U_{ref} = 12 * \frac{R6}{R6 + R_{\text{верхній}}}$$

Беремо стандартний дільник: верхній резистор = R5, нижній = R6.

При $R5 = R6 = 10 \text{ кОм}$:

$$U_{ref} = 12 * \frac{10}{10 + 10} = 6 \text{ В}$$

$$R5 = R6 = 10 \text{ кОм}$$

Крок 2. Напруга на «-» вході через R4 і оптопару:

R4 підтягує «-» вхід до +12 В. Фотоприймач оптопары РС817 при відкритому стані має опір насичення близько 100 Ом (підключений між «-» входом і GND).

При відкритій оптопарі (мережа є):

$$U_{\text{вх-}} = 12 * \frac{100}{R4 + 100}$$

Потрібно щоб $U_{\text{вх-}} < U_{ref} = 6 \text{ В}$:

$$12 * \frac{100}{R4 + 100} < 6$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{100}{R4 + 100} < 0.5$$

$$100 < 0.5 * R4 + 50$$

$$R4 > 100 \text{ Ом}$$

При закритій оптопарі (мережа відсутня) фотоприймач розімкнений – «–» вхід підтягується через R4 до 12 В – $U_{вх-} = 12 \text{ В} > U_{ref} = 6 \text{ В}$, через що компаратор перемикається.

Беремо R4 з великим запасом щоб забезпечити чітке перемикання:

$$R4 = 10 \text{ кОм}$$

Перевірка при відкритій оптопарі:

$$U_{вх-} = 12 * \frac{100}{10000 + 100} = 12 * 0,0099 = 0,119 \text{ В} \ll 6 \text{ В}$$

Різниця між $U_{вх-}$ (0.12 В) і U_{ref} (6 В) при наявності мережі – велика, компаратор перемикається чітко без хибних спрацювань.

4.6.3 Розрахунок R7 – резистор затвора IRF540

R7 обмежує струм заряду ємності затвора транзистора при перемиканні та захищає вихід LM393.

Вихідний струм LM393 (вихід з відкритим колектором): максимум 6 мА.

Ємність затвора IRF540: $C_{gate} = 1.7 \text{ нФ}$ (з даташиту).

При $R7 = 10 \text{ Ом}$ час заряду затвора:

$$\tau = R7 * C_{gate} = 10 * 1,7 * 10^{-9} = 17 \text{ нс}$$

Це дуже швидко – транзистор відкривається практично миттєво. Струм заряду:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{gate} = \frac{U}{R7} = \frac{12}{10} = 1,2 \text{ A}$$

Це кидок, але короткочасний (17 нс) – для LM393 безпечно оскільки середній струм мізерний.

$$R7 = 10 \text{ Ом}, 0,125 \text{ Вт}$$

4.6.4 Перевірка транзистора VT1 (IRF540)

IRF540 – N-канальний MOSFET. Перевіряємо параметри:

Напруга відкриття затвора (порогова $U_{GS(th)}$): 2-4 В за даташитом. При напрузі на затворі 12 В транзистор повністю насичений – опір каналу мінімальний ($R_{DS(on)} = 0,077 \text{ Ом}$).

Струм через транзистор при живленні роутера:

$$I_{роутер} = \frac{P}{U} = \frac{5,4}{9} = 0,6 \text{ A}$$

Максимально допустимий струм IRF540: 33 А

$$0,6 \text{ A} \ll 33 \text{ A} \text{ (запас } > 5000\%)$$

Падіння напруги на відкритому транзисторі:

$$\Delta U_{DS} = I * R_{DS(on)} = 0,6 * 0,077 = 0,046 \text{ В}$$

Падіння менше 0.05 В – практично непомітне для роутера.

Потужність що розсіюється на транзисторі:

$$P_{VT1} = I^2 * R_{DS(on)} = 0,6^2 * 0,077 = 0,36 * 0,077 = 0,028 \text{ Вт}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплова стійкість визначається через термічний опір кристал–середовище R0JA. Для IRF540 за даташитом: R0JA = 62 °C/Вт.

Перевищення температури кристала над температурою навколишнього середовища:

$$\Delta T = P_{VT1} * R_{0JA} = 0,028 * 62 = 1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

При кімнатній температурі 25 °C температура кристала транзистора становитиме лише 26.7 °C – що є на 123 °C нижчим за максимально допустиму температуру кристала IRF540 (150 °C за даташитом). Тобто запас близько 123 °C.

Транзистор IRF540 практично не нагрівається при даному навантаженні.

Таблиця 4.10. Зведена таблиця елементів схеми 2

Елемент	Розрахункове значення	Обраний номінал	Тип / Примітка
C1	0.434 мкФ	0.47 мкФ	Плівковий X2, 275 В АС
R1	62.2 Ом	68 Ом	0.25 Вт
R2	2.13 МОм	1 МОм	0.25 Вт
VD2	12 В	1N4742A	1 Вт
C2	135 мкФ	220 мкФ	Електролітичний, 25 В
U1	IF = 10 мА	PC817	Оптопара, Uізол = 5000 В
R3	1080 Ом	1 кОм	0.25 Вт
R4	>100 Ом	10 кОм	0.25 Вт
R5	10 кОм	10 кОм	0.25 Вт
R6	10 кОм	10 кОм	0.25 Вт
R7	10 Ом	10 Ом	0.125 Вт
D1	—	LM393	Компаратор, DIP-8
VT1	I > 0.6 А, Ugs > 4 В	IRF540	MOSFET, 33 А, 100 В

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.7 Комп'ютерна симуляція схеми вимикача резервного освітлення

4.7.1 Середовище симуляції та модель

Для підтвердження правильності розрахунків для вимикача резервного освітлення, ця схема була змодельована у програмі NI Multisim. Multisim дозволяє відтворити поведінку аналогових схем в умовах наближених до реальних, включаючи нелінійні характеристики діодів, стабілітронів і реле.

Схема представлена на рисунку нижче, і містить всі елементи лівої та правої частин вимикача.

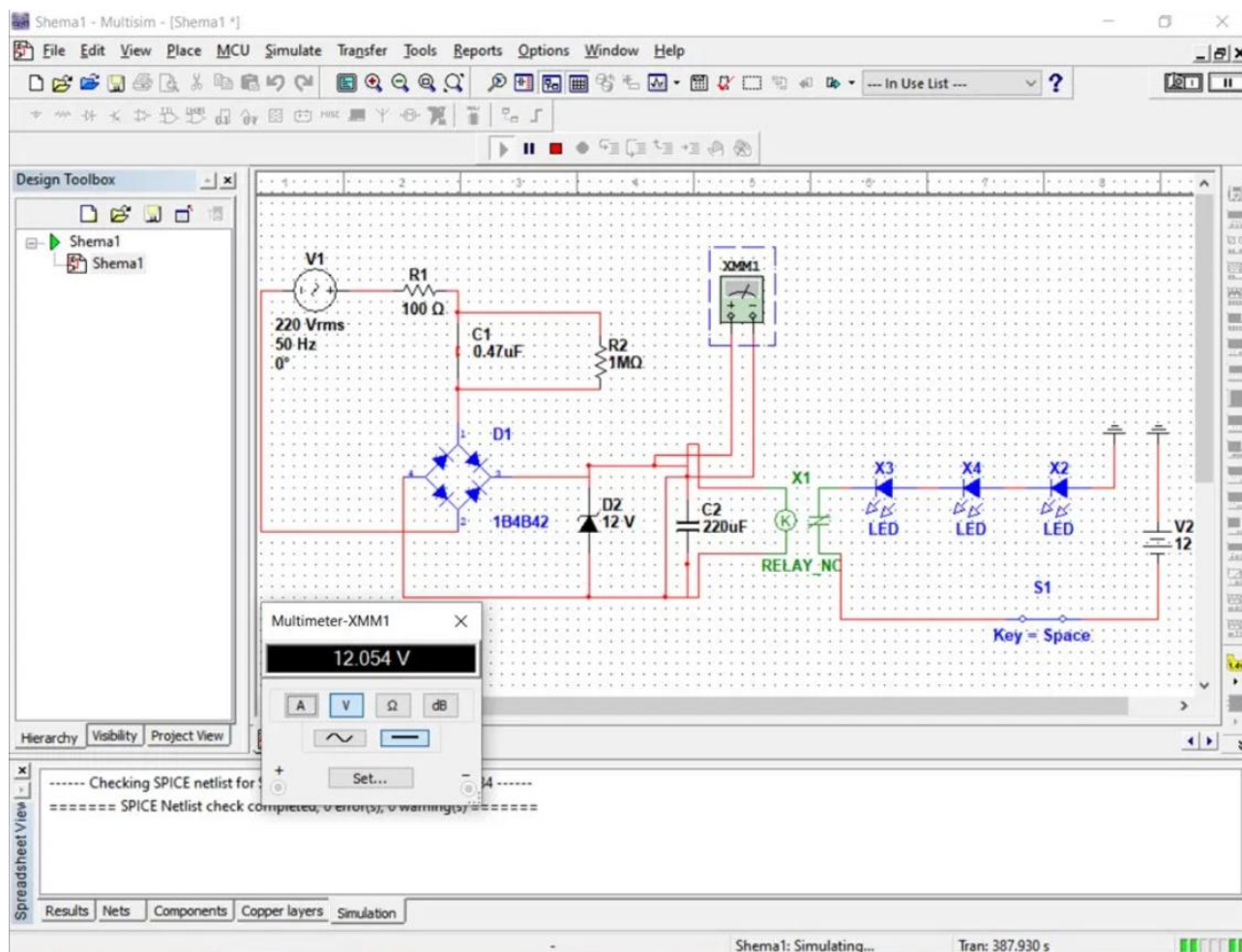


Рисунок 4.1. Симуляція схеми вимикача резервного освітлення

- Джерело змінної напруги V1: 220 В RMS, 50 Гц;
- R1: 100 Ом / 5 Вт (пояснення далі);

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- C1: 0.47 мкФ (тип X2);
- R2: 1 МОм (паралельно C1);
- D1 – діодний міст 1B4B42;
- D2 – стабілітрон 12 В;
- C2: 220 мкФ;
- Реле RELAY_NC з котушкою 12 В;
- Три LED як навантаження резервного кола;
- Джерело V2: 12 В (акумулятор);
- Вимикач S1 (ручний вимикач B1).

4.7.2 Параметри R1 у симуляції

У розрахунках (підрозділ 4.5.3) був визначений номінал $R1 = 68 \text{ Ом} / 0.25 \text{ Вт}$. У симуляції для R1 було встановлено $100 \text{ Ом} / 5 \text{ Вт}$. Це зроблено через особливість роботи самої програми, а не помилкою розрахунків.

В момент підключення схеми до мережі конденсатор C1 є повністю розрядженим і поводить себе як коротке замикання. Миттєва пікова потужність на R1 в цей момент:

$$P_{\text{пik}} = \frac{U_{\text{2пik}}^2}{R1} = \frac{311^2}{68} = 1422 \text{ Вт}$$

Тривалість цього піку визначається сталою часу RC:

$$\tau = R1 * C1 = 68 * 0,47 * 10^{-6} = 32 \text{ мкс}$$

Повна енергія що виділяється в R1 за час кидку:

$$E = \frac{1}{2} * C1 * U_{\text{2пik}}^2 = \frac{1}{2} * 0,47 * 10^{-6} * 311^2 = 22,7 \text{ мДж}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мультисим фіксує миттєвий пік потужності і сигналізує про перевантаження компонента. Однак для вибору реального резистора визначальною є середня робоча потужність – та що виділяється постійно під час роботи:

$$P_{\text{роб}} = I^2_{\text{роб}} * R1 = 0,0325^2 * 68 = 0,072 \text{ Вт}$$

Стандартний резистор 68 Ом / 0.25 Вт є цілком достатнім для реальної схеми – його теплова маса поглинає короткочасний кидок енергії (22.7 мДж) без будь-яких наслідків. У симуляції для уникнення попереджень встановлено 100 Ом / 5 Вт, що незначно змінює робочий струм (з 32.5 до 32.49 мА) і жодним чином не впливає на функціонування схеми.

4.7.3 Результати симуляції та їх аналіз

Мультиметр ХММ1 підключений паралельно до вузла після стабілітрона D2 – тобто вимірює напругу живлення котушки реле. Показання мультиметра в режимі постійної напруги (DC) $U_{\text{вих}} = 12.054 \text{ В}$. Відхилення симуляції від розрахункового значення менше 1%, а точніше 0.45%.

Відхилення 0.45% є абсолютно нормальним і пояснюється реальними характеристиками SPICE-моделі стабілітрона 1N4742A, напруга стабілізації якого має допуск близько 5% за даташитом. Симуляція знаходиться в межах допуску.

Реле RELAY_NC коректно спрацьовує: при наявності мережі котушка знаходиться під напругою і нормально замкнений контакт розімкнений – LED не горять. При відключенні мережі (натискання Spase для відкриття вимикача в колі живлення) котушка знеструмлюється, контакт замикається і LED засвічуються від джерела V2 (12 В акумулятора).

Результати симуляції підтверджують правильність розрахованих номіналів елементів. Схема вимикача резервного освітлення функціонує відповідно до розробленого алгоритму.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.8 Комп'ютерна симуляція схеми вимикача роутера

4.8.1 Модель схеми

Схема вимикача роутера змодельована у тому ж середовищі Multisim.

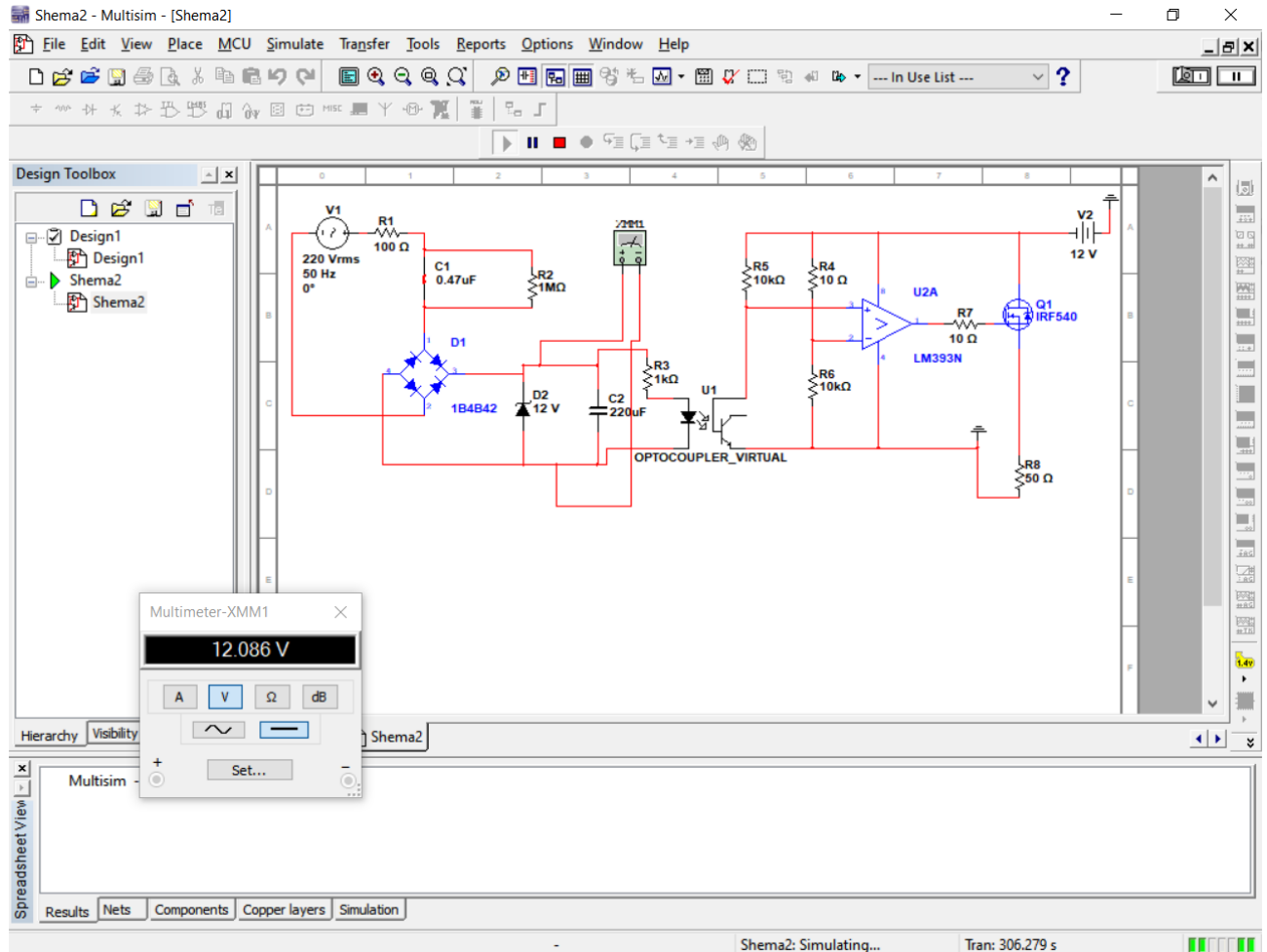


Рисунок 4.2. Симуляція схеми вимикача роутера

Схема наведена на рисунку вище, містить в собі:

- Джерело V1: 220 В RMS, 50 Гц;
- R1: 68 Ом (у симуляції – з підвищеним номіналом потужності з причин описаних у 4.7.2);
- C1: 0.47 мкФ, R2: 1 МОм (паралельно);
- D1 – діодний міст 1B4B42;

- D2 – стабілітрон 12 В;
- C2: 220 мкФ;
- R3: 1 кОм;
- U1 – оптопара OPTOCOUPLER_VIRTUAL;
- R4, R5, R6: 10 кОм кожен;
- D1 (компаратор): LM393N;
- R7: 10 Ом;
- Q1: IRF540 (MOSFET);
- R8: 50 Ом (навантаження – імітує роутер);
- Джерело V2: 12 В (акумулятор).

4.8.2 Результати симуляції та їх аналіз

Мультиметр XMM1 підключений до виходу стабілітрона D2 – вимірює напругу живлення оптопар і компаратора. Показання $U_{вих} = 12.094 \text{ В}$. Відхилення від розрахункового значення 0,78%.

Відхилення 0.78% знаходиться в межах допуску стабілітрона (близько 5%) і є нормальним результатом. Незначна різниця між показаннями двох схем (12.054 В і 12.094 В) пояснюється різним струмом навантаження на стабілітрон у кожній схемі – у схемі 2 через стабілітрон протікає додатковий струм через R3 і оптопару.

При наявності мережі 220 В оптопара U1 відкрита, через що компаратор LM393N утримує вихід у низькому стані, що призводить до того що транзистор IRF540 закритий і навантаження R8 (роутер) знеструмлене.

При відключенні мережі оптопара закривається, LM393N перемикає вихід у високий стан, IRF540 повністю відкривається, напруга 12 В від V2 надходить на R8 (роутер).

Напруга на навантаженні R8 при відкритому транзисторі:

$$U_{R8} = 12 - \Delta U_{DS} = 12 - (0,6 * 0,077) = 12 - 0,046 = 11,954 \text{ В}$$

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Падіння на відкритому транзисторі менше 0.05 В – відповідає тепловому розрахунку з підрозділу 4.6.4.

Комп'ютерна симуляція обох схем у програмі NI Multisim підтвердила правильність проведених розрахунків. Відхилення розрахункових і симуляційних значень не перевищує 1% і пояснюється банально реальними характеристиками SPICE-моделей компонентів, що є нормальним явищем для віртуального моделювання. Таким чином, розраховані номінали елементів є коректними і можуть бути використані для реального монтажу.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. МОНТАЖ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ

5.1 Загальні принципи та послідовність монтажу

Монтаж резервної системи живлення виконується у строго визначеній послідовності, яка виключає ризик короткого замикання або пошкодження компонентів під час складання. Головне те, що акумулятор підключається останнім. До моменту підключення акумулятора система є знеструмленою і безпечною для монтажу.

Також, при підключенні елементів схеми до 220 В мережі, саму цю мережу теж потрібно вимкнути, і на всяк випадок мати поблизу вогнегасник. Це потрібно пам'ятати.

5.2 Підготовка та розміщення компонентів

Акумулятор LiFePO₄ є центральним і найважчим елементом системи (12 кг), тому його місце розташування визначається першим. Вимоги до місця:

- Вентиляція: хоча LiFePO₄ практично не виділяє газів при нормальній роботі на відміну від свинцево-кислотних аналогів, приміщення має провітрюватися;
- Температура: робочий діапазон акумулятора -20, +60 °C, оптимально – кімнатна температура. Не розміщувати поблизу батарей опалення або на морозі (особливо взимку);
- Поверхня: тверда горизонтальна поверхня, що витримує вагу. Акумулятор не повинен падати або перекидатися;
- Доступність: до клем акумулятора має бути вільний доступ для обслуговування і контролю.

Контролер розміщується поблизу акумулятора – довжина кабелю між ними не повинна перевищувати 1-1.5 м для мінімізації падіння напруги. Місце кріплення – вертикальна поверхня (стіна або щит), оскільки контролер має кріпильні отвори і розрахований на настінне встановлення.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інвертор розміщується максимально близько до акумулятора – це найпотужніший ланцюг системи і будь-який зайвий метр силового кабелю означає додаткові втрати і нагрів. Відстань між акумулятором і інвертором – не більше 0.5-1 м. Інвертор має активне охолодження (вентилятор), тому навколо нього необхідно залишити вільний простір не менше 15 см з усіх боків.

5.3 Монтаж сонячної панелі

Дві сонячні панелі встановлюються на даху або іншій відкритій поверхні з максимальним доступом до сонця протягом дня. Для України оптимальний азимут – на південь, кут нахилу до горизонту – 30-45 градусів для максимальної річної генерації. Можливо взяти систему автоматичного повертання панелі до сонця задля максимального поглинання світла протягом дня, але це вже за бажанням.

Панелі кріпляться на алюмінієві профілі або спеціальні монтажні кронштейни. Кріплення має витримувати вітрове навантаження під час дощів, снігів і т.д..

Від панелей прокладається кабель 6 мм² у захисній гофрованій трубі до місця розташування контролера. Кабель фіксується кріпленнями з кроком не більше 50 см щоб виключити провисання і механічні пошкодження.

Паралельне підключення двох панелей: «плюс» першої панелі з'єднується з «плюсом» другої, «мінус» з «мінусом» – через MC4 Y-конектори. Це забезпечує підсумовування струмів при збереженні напруги 18 В. Результуючий кабель від Y-конекторів іде до запобіжника F1.

Запобіжник F1 (30 А) встановлюється на лінії від панелей, якомога ближче до точки підключення панелей – до входу контролера. Краще використовувати запобіжник у пластиковому водозахисному корпусі, оскільки ця ділянка буде знаходитись на вулиці.

Контролер має шість клем, розділених на три пари. Підключення виконується у наступному порядку:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Підключення акумулятора до контролера. Першим до контролера підключається акумулятор (не до клем самого акумулятора – до клем контролера). Дотримання полярності є критично важливим: «+» акумуляторного кабелю до клеми «BAT+», «-» до «BAT-». При неправильній полярності контролер може вийти з ладу миттєво. Тому це можна і повторити – послідовність плюсів й мінусів мають точно підключатися вірно, аби не викидати новий прилад через неуважність. Після підключення на дисплеї контролера має засвітитися індикація – це підтвердження правильного підключення.

2. Підключення навантаження. До клем «LOAD+» і «LOAD-» підключаються споживачі постійного струму: LED стрічки (через вимикач резервного освітлення) та знижувальний перетворювач LM2596S для роутера. Полярність – строго дотримуватись тут теє.

3. Підключення сонячної панелі. Останнім до контролера підключається кабель від сонячних панелей через запобіжник F1. Клеми «PV+» і «PV-» відповідно. Контролер автоматично визначить напругу панелі і почне регулювання заряду.

Важливо ніколи не підключати панелі до контролера без попередньо підключеного акумулятора – PWM контролери KW-серії вимагають акумулятор як опорне навантаження для коректного визначення системної напруги.

5.5 Монтаж інвертора і запобіжника F2

Запобіжник F2 (150 A) встановлюється безпосередньо біля позитивної клеми акумулятора – між клемою і силовим кабелем до інвертора. Відстань від клеми акумулятора до запобіжника не повинна перевищувати 10-15 см. Це принципова вимога, адже незахищена ділянка кабелю між акумулятором і запобіжником є потенційно небезпечною зоною – при КЗ на цій ділянці запобіжник не допоможе.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для запобіжника 150 А використовується болтовий (ножовий) тип – такі запобіжники мають значно кращий контакт і розраховані на великі струми на відміну від трубчастих.

Силовий кабель 6 мм² прокладається від запобіжника F2 до вхідних клем інвертора. Кабель має бути якомога коротшим – кожні зайві 10 см при великих струмах означають додаткові втрати. Клеми інвертора затягуються з зусиллям – слабкий контакт при великих струмах призводить до нагріву і оплавлення ізоляції.

На виході інвертора (220 В AC) підключаються: холодильник та насос опалення – через звичайні розетки або клемні колодки.

Група LED стрічок підключається до акумулятора.

5.6 Підключення DC-DC перетворювачів

Перетворювач підключається до акумулятора через окремий захищений відвід. До підключення необхідно виставити вихідну напругу 19 В за допомогою підстроювального резистора на платі, контролюючи напругу мультиметром на вихідних клемах при підключеному живленні. Лише після встановлення точного значення 19 В підключається ноутбук через відповідний роз'єм живлення.

Аналогічно до підключення роутера виставляється вихідна напруга 9 В мультиметром. Перетворювач підключається до клем «LOAD» контролера. Вихід перетворювача підключається до схеми вимикача роутера.

Важливо, неправильно виставлена вихідна напруга перетворювача може вивести з ладу підключений пристрій. Завжди потрібно перевіряти напругу мультиметром перед підключенням навантаження, бо якщо ноутбук або розтер згорять через неуважність, це буде не лише сумно, але і надзвичайно дорого.

LED стрічки PROLUM 12 В монтуються у трьох приміщеннях загальною довжиною 15 м. Стрічки кріпляться на підготовлену поверхню (плінтус, стеля, ніша) за допомогою вбудованого самоклейного шару або додаткових кліпс.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожна ділянка стрічки підключається до загальної шини 12 В паралельно – «+» до «+», «-» до «-». Паралельне підключення забезпечує однакову яскравість усіх ділянок незалежно від їх довжини.

Кабель від акумулятора (через контролер і вимикач резервного освітлення) до стрічок прокладається у кабельних каналах або під плінтусом. Переріз кабелю для живлення стрічок – 1.5 мм^2 (достатньо для струму 12 А при довжині до 5 м).

Полярність підключення стрічки є критичною – на стрічці позначені «+» і «-». При неправильній полярності стрічка не горить, але і не виходить з ладу – достатньо переполюсувати роз'єм.

5.7 Складання вимикачів резервного живлення

Всі елементи кожної схеми монтуються на монтажній платі (перфорованій або травленій). Послідовність монтажу елементів на платі:

1. Спочатку встановлюються резистори – найнижчі елементи, що не чутливі до тепла;
2. Потім діоди і стабілітрони – з дотриманням полярності (смуга на корпусі це катод);
3. Далі мікросхема LM393 (для схеми роутера) – встановлюється в панельку (панелька паяється першою, мікросхема вставляється після);
4. Потім транзистор IRF540 – виводи: затвор (G), витік (S), стік (D) визначаються за маркуванням;
5. Оптопара PC817 – з дотриманням орієнтації (ключ – зрізаний кут корпусу);
6. Останніми встановлюються електролітичні конденсатори C2 – строго з дотриманням полярності («+» – довший вивід).

Конденсатор C1 (тип X2) і резистори R1, R2 підключаються до мережевої частини – їх виводи не повинні контактувати з елементами низьковольтної частини плати.

Зібрана плата розміщується у пластиковому ізолюючому корпусі – це обов'язкова вимога, оскільки мережева частина схеми знаходиться під

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потенціалом 220 В. Корпус має бути закритим і не допускати випадкового дотику до плати.

Виводи мережевого живлення (220 В) та виводи низьковольтної частини (12 В і навантаження) виводяться через окремі отвори корпусу з відповідним маркуванням.

Перед встановленням вимикачів у систему кожна схема перевіряється окремо:

Перевірка вимикача освітлення:

1. Підключити схему до мережі 220 В – реле К1 повинне клацнути (спрацювати), контакт К1.1 розімкнутий;
2. Підключити до виходу (12 В клем) мультиметр – напруга відсутня (коло розімкнуте);
3. Відключити мережу 220 В – реле відпускає, контакт К1.1 замикається, мультиметр показує 12 В.

Перевірка вимикача роутера:

1. Підключити схему до мережі 220 В та джерела 12 В – на виході транзистора VT1 напруга має бути близькою до нуля (VT1 закритий);
2. Відключити мережу – транзистор відкривається, на виході з'являється 12 В.

5.8 Підключення акумулятора

Після того як змонтовані і перевірені всі елементи системи, підключається акумулятор. Перед підключенням виконується фінальна перевірка:

- Всі кабельні з'єднання затягнуті і заізолювані;
- Полярність підключення кожного елемента перевірена;
- Запобіжники F1 і F2 встановлені на місці;
- Інвертор вимкнений (тумблер у положенні «OFF»);
- DC-DC перетворювачі перевірені на правильність вихідної напруги.

Підключення акумулятора:

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Спочатку підключається від'ємний («-») кабель до негативної клеми акумулятора;
2. Потім підключається позитивний («+») кабель через запобіжник F2 до позитивної клеми.

При підключенні акумулятора до контролера (через відповідні клеми) на дисплеї засвічується напруга акумулятора. Невелика іскра в момент підключення є нормальним явищем – це заряджаються конденсатори на вході контролера.

5.9 Перший запуск і перевірка системи

Після підключення акумулятора йде послідовна перевірка ланцюгів:

1. Перевірка контролера. Дисплей показує напругу акумулятора. При наявності сонця – відображається струм заряду від панелей. Перевіряється струм навантаження при підключених LED стрічках.

2. Перевірка DC-DC перетворювачів. Мультиметром перевіряється вихідна напруга кожного перетворювача під навантаженням (підключений роутер або ноутбук) – напруга не повинна просідати нижче встановленого значення більш ніж на 0.2-0.3 В.

3. Перевірка інвертора. Інвертор вмикається тумблером. На виході перевіряється напруга мультиметром – має бути 220 В, в межах похибки в 5%. Почергово підключаються холодильник і насос – перевіряється нормальний запуск без спрацювання захисту інвертора.

4. Перевірка вимикачів резервного живлення. Відключається мережа 220 В (автомат на щитку) – всі три вимикачі мають спрацювати і забезпечити живлення від акумулятора. Відновлюється мережа – система автоматично повертається в штатний режим.

5. Контроль нагріву. Через 30 хвилин роботи під навантаженням перевіряється температура основних компонентів на дотик: кабелі, запобіжники, перетворювачі, контролер – не повинні бути гарячими. Теплими (40-50 °С) можуть бути інвертор і DC-DC перетворювачі – це норма.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні положення

Резервна система живлення містить елементи що становлять потенційну небезпеку для здоров'я і життя людини при недотриманні правил безпеки. Багато елементів системи, такі як мережа 220 В, акумулятор, інвертор 220 В, та сонячні панелі працюють з великим струмом, тому критично важливо не наражати себе на небезпеку через необачність при роботі з ними.

Основні групи небезпек у даній системі, це:

- Електрична небезпека – ураження струмом від мережі 220 В, від виходу інвертора 220 В, або від акумулятора при короткому замиканні;
- Теплова небезпека – опіки від нагрітих компонентів, пожежа при КЗ або перевантаженні;
- Хімічна небезпека – електроліт акумулятора при механічному пошкодженні корпусу;
- Механічна небезпека – падіння важкого акумулятора (12 кг), падіння сонячних панелей при монтажі на висоті.

6.2 Електрична безпека

Змінний струм напругою 220 В є смертельно небезпечним для тіла людини, і може піджарити її дуже швидко, що на жаль трапляється при роботі з електрикою.

Правила безпеки при роботі з мережевою частиною наступні:

- Будь-які роботи з мережевою проводкою виконуються виключно при відключеному автоматичному вимикачі на електрощитку;
- Перед початком работ, відсутність напруги перевіряється індикаторною викруткою або мультиметром – ніколи й нізащо не пальцями;
- Схеми вимикачів резервного живлення розміщуються у закритих ізолюючих корпусах, доступ до яких після монтажу, і коли схема вже буде

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працювати виключений, аби діти або необачні люди не мали фізичної можливості торкнутися їх;

- Конденсатор С1 у схемах вимикачів залишається зарядженим до напруги близько 311 В протягом близько 1 секунди після відключення від мережі – не торкатись елементів плати одразу після відключення;
- Мережеві кабелі прокладаються окремо від низьковольтних ліній постійного струму;
- Усі мережеві з'єднання виконуються ізольованими клемними колодками або з'єднувачами – скруток не допускається.

Акумулятор теж є дуже потужним джерелом струму. Акумулятор не має встроєного захисного автомата на введенні – його енергія доступна миттєво. При короткому замиканні клем акумулятора виникає струм до декількох тисяч ампер, що спричиняє:

- Миттєве оплавлення і займання інструменту або кабелю;
- Вибухоподібне руйнування місця КЗ з розльотом розплавленого металу;
- Пожежу.

Кожен з цих ефектів може бути як мінімум фізично дуже небезпечним, а як максимум летальним для людини. Пам'ятайте це.

Правила безпеки при роботі з акумулятором наступні:

- При роботі поблизу клем акумулятора зняти металеві прикраси (годинник, браслети, ланцюжки й все інше) – вони можуть замкнути клеми;
- Використовувати інструмент з ізольованими;
- Ніколи не класти металеві предмети на акумулятор або поблизу клем;
- Підключення кабелів до акумулятора виконується у послідовності: спочатку «-», потім «+». Від'єднання – у зворотному порядку: спочатку «+», потім «-»;
- Запобіжник F2 встановлюється до підключення позитивного кабелю до акумулятора;
- Не допускати механічних ударів по корпусу акумулятора – при пошкодженні LiFePO₄ може займатися;

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Не закривати акумулятор у повністю герметичному просторі – при спрацюванні захисного клапана BMS потрібна вентиляція.

Сонячна панель також є постійно активним джерелом струму при наявності будь-якого освітлення – навіть при хмарному небі або штучному освітленні. Вимкнути панель повністю неможливо без фізичного затемнення або від'єднання.

Напруга двох паралельних панелей: 18 В – не є небезпечною для життя при контакті з сухою шкірою, однак струм КЗ (близько 22 А) може спричинити опіки та загоряння при замиканні.

Правила безпеки для сонячних панелей такі:

- При монтажі або демонтажі кабелів від панелей спочатку від'єднати кабель від контролера, і лише потім від панелей;
- MC4 конектори розраховані на підключення під навантаженням – розмикати їх можна без попереднього відключення, але не допускати дотику до металевих контактів роз'єму в жодному разі;
- При монтажі панелей на даху дотримуватись правил роботи на висоті, тобто надійні опори й не працювати поодиночі, якщо висота дійсно велика, мати страхувальний пояс чи щось на кшталт;
- Не наступати на поверхню панелі та не допускати механічних пошкоджень скла – тріщини знижують ефективність і створюють небезпеку ураження струмом при зволоженні.

Для інвертора, вихідна напруга є рівною мережевій за рівнем небезпеки. При увімкненому інверторі на його вихідних розетках присутня повна напруга 220 В незалежно від стану централізованої мережі, що спричинить ті ж ефекти при ураженні струмом, що й від звичайних розеток.

Правила безпеки для інвертора наступні:

- Перед підключенням або від'єднанням споживачів від виходу інвертора – вимкнути інвертор тумблером;
- Не підключати до інвертора пристрої сумарною потужністю більше 2000 Вт – спрацює захист, але постійне перевантаження скорочує ресурс, і якщо

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захист по якійсь причині все ж не спрацює, наслідки можуть бути в гіршому випадку фатальними;

- Вихідні кабелі інвертора прокладати окремо від низьковольтних ліній і позначати їх відповідним маркуванням;
- Не залишати вихідні клеми інвертора відкритими при увімкненому пристрої.

6.3 Пожежна безпека

Основні причини можливого загоряння в системі резервного живлення, це:

Коротке замикання – найнебезпечніша причина. Не допускається правильно підібраними запобіжниками F1 і F2, якісною ізоляцією кабелів і відсутністю відкритих струмоведучих частин.

Перевантаження кабелів – виникає при прокладанні кабелів недостатнього перерізу або при значному перевищенні розрахункового навантаження. Не допускається дотриманням розрахункових перерізів кабелів і контролем навантаження. Тобто не використовувати кабелі менше перерізу 6 мм^2 .

Поганий контакт – у місцях слабо затягнутих або окислених з'єднань виникає підвищений перехідний опір, що призводить до локального нагріву. Не допускається якісним монтажем і періодичним підтягуванням клемних з'єднань.

Перегрів компонентів – при недостатній вентиляції інвертора або DC-DC перетворювачів. Не допускається забезпеченням вільного простору навколо пристроїв з активним охолодженням.

Для заходів пожежної безпеки потрібно дотримуватися наступних правил:

- Поблизу акумулятора та інвертора не зберігати горючі матеріали (папір, тканини, рідини);
- Силові кабелі не прокладати разом з іншими кабелями без відповідного захисту;
- Запобіжники F1 і F2 не замінювати на більший номінал і не замикати перемичками;

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- При виявленні запаху горілої ізоляції або диму – негайно від'єднати акумулятор і вимкнути мережу на щитку;
- Мати в доступному місці вогнегасник порошковий або вуглекислотний (не водяний – вода при гасінні електроустаткування смертельно небезпечна);
- При загорянні акумулятора LiFePO₄ – гасити великою кількістю води для охолодження (на відміну від інших літєвих батарей, LiFePO₄ не реагує з водою вибухово), або піском, чи вогнегасником.

6.4 Безпека при обслуговуванні системи

Система резервного живлення потребує періодичного обслуговування для підтримання надійності і безпеки:

Щомісячно візуальний огляд усіх кабельних з'єднань на відсутність оплавлень, потемнінь, слідів нагріву, перевіряти надійність кріплення клемних з'єднань, і контролювати напруги акумулятора на дисплеї контролера.

Щоквартально очищати поверхню сонячних панелей від пилу і бруду – зниженням забруднення панелей знижується їх ефективність на 10-20% (якщо на вулиці був сніг чи пилові бурі, мало не щоденно це робити), перевірка цілісності ізоляції кабелів на видимих ділянках і перевірка роботи всіх трьох вимикачів резервного живлення штучним відключенням мережі.

Щорічно йде перевірка стану MC4 конекторів на відсутність корозії і вологи, перевірка запобіжників на цілісність, і перевірка кріплень сонячних панелей на даху.

При експлуатації системи категорично забороняється:

- Підключати до виходу інвертора пристрої з пусковим струмом що перевищує 2000 Вт;
- Замикати клема акумулятора будь-яким провідником для перевірки – це спричинить КЗ;
- Залишати систему без нагляду при першому запуску або після будь-яких змін у схемі;

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Самостійно розбирати корпус акумулятора – BMS і елементи всередині знаходяться під напругою і небезпечні;
- Заряджати акумулятор від нерегульованого джерела без контролера – перезаряд руйнує LiFePO₄;
- Допускати дітей до елементів системи – особливо до клем акумулятора та корпусів вимикачів резервного живлення;
- Виконувати будь-які роботи зі схемами вимикачів без відключення мережі 220 В на щитку.

6.5 Перша допомога при ураженні електричним струмом

При ураженні людини електричним струмом необхідно діяти негайно і в правильній послідовності:

1. Усунути дію струму. Відключити джерело живлення – вимкнути автомат на щитку або від'єднати акумулятор. Не торкатись потерпілого голими руками поки він знаходиться під дією струму – це не допоможе постраждалому, але примножить їх кількість як мінімум до двох. Відтягнути потерпілого від джерела струму за одяг або за допомогою діелектричного предмета (дерев'яна палиця, пластиковий стілець).
2. Оцінити стан. Перевірити свідомість (гучно звернутись, злегка струсити за плече), дихання (спостерігати за рухом грудної клітки), пульс (сонна артерія на шиї).
3. Викликати екстрену допомогу: Негайно викликати швидку допомогу і повідомити що сталося ураження електричним струмом.
4. Надати першу допомогу:
 - 4.1. Якщо потерпілий без свідомості, але дихає – укласти у стабільне положення на боку, контролювати дихання до приїзду швидкої;
 - 4.2. Якщо відсутнє дихання або серцебиття – негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію: 30 натискань на грудину + 2 вдихи, ритмічно, до відновлення або приїзду медиків;

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Місця електричних опіків накрити чистою тканиною – не змазувати кремами або жирами.

Таблиця 6.1. Зведена таблиця небезпек та заходів захисту

Джерело небезпеки	Вид небезпеки	Захисний захід
Мережа 220 В	Ураження струмом	Відключення автомата, ізолюючий корпус вимикачів
Акумулятор (КЗ)	Опіки, пожежа	Запобіжник F2, ізольований інструмент, зняття прикрас
Акумулятор (механічне пошкодження)	Займання, хімічний опік	Захищене місце розміщення, заборона ударів
Вихід інвертора 220 В	Ураження струмом	Вимкнення перед підключенням, маркування кабелів
Сонячні панелі	Опіки від КЗ, падіння з висоти	Від'єднання від контролера, страхувальний пояс
DC-DC перетворювачі	Неправильна напруга, перегрів	Перевірка мультиметром, вентиляція
Схеми вимикачів (мережева частина)	Ураження струмом	Закритий корпус, заряджений С1 після відключення
Загоряння	Пожежа	Запобіжники, вогнегасник, вентиляція

ВИСНОВОК

При виконанні даної роботи була розроблена і описана система резервного живлення для житлового будинку, що функціонує на основі літій-залізо-фосфатного акумулятора і двох сонячних панелей.

Система вирішує проблему відключення електроенергії для звичайних родин з урахуванням як базового мінімуму споживачів (інтернет + освітлення) так і більш широкого комплексу. При мінімальному навантаженні (освітлення і інтернет) акумулятор забезпечує автономну роботу більше доби, а при повному навантаженні час автономності складає від 8 годин взимку до повного добового покриття потреб влітку за рахунок генерації сонячних панелей.

В роботі самостійно розроблено дві (фактично три) схеми автоматичного перемикавання резервного живлення для освітлення, та інтернету. Всі три схеми забезпечують автоматичне і миттєве перемикавання споживачів на резервне живлення без участі людини і без переривання роботи пристроїв.

Для всіх елементів власних схем виконано повний розрахунок номіналів і правильність розрахунків підтверджена комп'ютерною симуляцією у середовищі NI Multisim, з відхиленням менше 1%. Логіка роботи обох схем підтверджена і відповідає розробленому алгоритму.

Усі компоненти системи перевірені на допустимі навантаження – жоден з елементів не працює в граничному режимі, всі мають комфортний запас по струму, потужності і температурі.

Практичним результатом роботи є описана, розрахована і підтверджена симуляцією система резервного живлення, яка будується реально, і вирішує актуальну проблему відключень електроенергії в умовах воєнного часу в Україні.

Її окремі елементи можуть змінюватися в залежності специфічних потреб окремих сімей в різних областях, через різну кількість приміщень і приладів, але як каркас і основа, вона цілком готова виступати в ролі прикладу для побудови власної системи резервного живлення.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання : підручник / В. В. Клименко, В. П. Солдатенко, С. П. Плєшков [та ін.] ; за ред. В. В. Клименка. – Кропивницький : ПП «ЕксклюзивСистем», 2023. – 212 с.
2. Андрєєв А. І. Джерела безперебійного живлення телекомунікаційних і комп'ютерних систем / А. І. Андрєєв, О. В. Банзак. – 2010. – 196 с.
3. Вісаріонов В. І. Сонячна енергетика : навч. посібник для вузів / В. І. Вісаріонов, Г. В. Дерюгіна, В. А. Кузнецова, Н. К. Малінін. – М. : Вид. дім МЕІ, 2008. – 320 с.
4. Воєца А. С. Резервні та автономні джерела електроживлення постійним струмом : метод. посібник. – Львів : ЛК ДУІКТ, 2004. – 51 с.
5. Головка В. М. Основи експлуатації енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії. – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – 139 с.
6. Джерела живлення із конденсаторним дільником напруги [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.diagram.com.ua/list/ip-kond.shtml>
7. Довідник по експлуатації сонячного контролера JUTA DY 1024-2024-3024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elptr.com/files/juta-pwm-plus-pro_manual_uk.pdf
8. Зорін В. В. Електричні мережі та системи (окремі розділи) : навч. посібник для студентів вищ. техн. навч. закл. / В. В. Зорін, Є. А. Штогрин, Р. О. Буйний. – Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 248 с.
9. Мисак Й. С. Сонячна енергетика: теорія та практика : монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2014. – 340 с.
10. Охорона праці при виконанні електромонтажних робіт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9706005/page:6/>
11. Фотоенергетика : практикум / уклад.: О. Ю. Гаєвський, В. Ю. Іванчук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 30 с.

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 12.Абонентський термінал ONU Picotel PU-X910 XPON EPON/GPON : техн. опис. – URL: <https://prom.ua/ua/p2357792353-abonentskij-terminal-onu.html> (дата звернення: 15.05.2026).
- 13.Бездротовий маршрутизатор (роутер) TP-Link Archer C20 : специфікації. – URL: <https://hotline.ua/ua/computer-besprovodnoe-oborudovanie/tp-link-archer-c20-v5/>
- 14.Інвертор напруги 2000 Вт 12/220 V Чиста Синусоїда ЕТУ 108 ТУ : інструкція. – URL: <https://grandmarket24.com.ua/ua/p2301828533-invertor-preobrazovatel-napryazheniya.html>
- 15.Контролер заряду для сонячної батареї : техн. дані. – URL: <https://rozetka.com.ua/ua/kontrolleri-zaryada-solnechnih-batarey-bez-brenda-153780188/p553868949/>
- 16.LiFePO4 12V 100Ah Акумулятор Datouboss, BMS, 1280Wh : паспорт виробу. – URL: <https://buyeasy.net.ua/batareji-akumuljatori-invertori/akumuljatori-1/utsinka-lifepo4-12v-100ah-akumulyator-datouboss-bms-1280wh>
- 17.МС4 конектор для сонячних панелей 30А 1000V (пара) : техн. опис. – URL: <https://ly-tron.com/konektor-dlia-soniachnykh-panelei-batarei-mc4-para-mc4-ua>
- 18.Насос циркуляційний WETRON 25–6/180 : характеристики. – URL: <https://gazovik.ua/pumps/p-nasos-tsyrkulyatsiynyy-wetron-25-6-180-774332>
- 19.Підвищувальний DC-DC перетворювач 150 Вт, 10-32 В (DC-DC-STEP-UP-150W) : техн. опис. – URL: <https://auto.rozetka.com.ua/ua/516438684/p516438684/>
- 20.Регульований понижуючий перетворювач DC-DC (LM2596S) : специфікація. – URL: <https://prom.ua/ua/p2224538059-reguliruemyy-ponizhayuschij-preobrazovatel.html>
- 21.Світлодіодна LED стрічка PROLUM™ 12V; 2835\120; IP20 : техн. характеристики. – URL: <https://prolum.com.ua/ru/svetodiodnaya-led-lenta-gibkaya-12v-prolum-ip20-2835120-standart/3829/>

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22.Сонячна панель 200 Вт 18V, поліморфна сонячна батарея 200W SN27 :
паспорт виробу. – URL: <https://prom.ua/ua/p2859415041-solnechnaya-panel-200.html>

					4361.ДП	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		