

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
(повне найменування факультету)

Кафедра електроніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**РОЗРОБКА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО БЛОКУ ЖИВЛЕННЯ
ДЛЯ WI-FI РОУТЕРА**

**DEVELOPING AN UNINTERRUPTED POWER SUPPLY
FOR WI-FI ROUTER**

спеціальність 171 Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Електроніка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ЕЛМ-21
Крутий Петро Сергійович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент
Лишук Віктор Васильович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«02» грудня 2025 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Заблоцький Валентин Юрійович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
Кафедра електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність: 171 Електроніка
Освітня програма: «Електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. В. ЗАБЛОЦЬКИЙ

«15» січня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Крутію Петру Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка безперебійного блоку живлення для WI-FI роутера

Керівник роботи: к.т.н., доцент Лишук В. В.

затверджені наказом вищого навчального закладу від «15» січня 2025 р. №23/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «1» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Boylestad R., Nashelsky L. Electronic devices and circuit theory. Prentice Hall. New Jersey. 2023, 934 p.

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

Вступ

Розділ 1 Аналіз вихідних даних та обґрунтування теми магістерської роботи

Розділ 2 Теоретична частина

Розділ 3 Практична частина

Розділ 4 Спеціальна частина

5. Перелік графічного матеріалу:

15 слайдів презентаційного матеріалу Power Point

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Лишук В. В., доцент</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Лишук В. В., доцент</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Лишук В. В., доцент</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Лишук В. В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Селепина Й. Р., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Заблоцький В. Ю., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	<u>16,65 %</u>		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Лишук В. В., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання «03» лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз вихідних даних та обґрунтування теми магістерської роботи	до 18.09.2025 р.	
2	Теоретична частина	до 01.10.2025 р.	
3	Практична частина	до 20.10.2025 р.	
4	Спеціальна частина	до 9.11.2025 р.	
5	Висновки	до 16.11.2025 р.	
6	Формування переліку використаних джерел	до 23.11.2025 р.	
7	Оформлення ілюстративного матеріалу	до 28.11.2025 р.	
8	Нормоконтроль	до 01.12.2025 р.	
9	Інструментальна перевірка на академічний плагіат	до 05.12.2025 р.	
10	Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту	до 30.12.2025 р.	

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Кругій П. С.
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Лишук В. В.
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Крутий П. С. Розробка безперебійного блоку живлення для WI-FI роутера.
Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Електроніка». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку використаних джерел. У першому розділі проведено огляд літературних джерел в області альтернативних джерел живлення для побутової техніки. У другому розділі розглянуто структурні схеми джерел безперебійного живлення. У третьому розділі розраховано елементну базу ДБЖ. У четвертому розділі побудовано математичну модель, запропоновано апаратну реалізацію ДБЖ з його випробуванням.

Ключові слова: ДБЖ, акумулятор, плата резервного перемикання інвертор, роутер.

ANNOTATION

Krutiyy P. Development of an uninterruptible power supply for a WI-FI router.
Manuscript.

Master's qualification work EP «Electronics». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusion, list of information sources. The first section reviews literary sources in the field of alternative power sources for household appliances. The second section considers structural diagrams of uninterruptible power sources.

The third section calculates the element base of the UPS. The fourth section builds a mathematical model, proposes a hardware implementation of the UPS with its testing.

Keywords: UPS, Battery, Backup Switching Board Inverter, Router.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА.....	9
1.1 Огляд літературних джерел в напрямку дослідження.....	9
1.2 Загальна характеристика джерел безперебійного живлення.....	10
1.3 Вибір ДБЖ та його компоненти.....	14
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Структурні схеми ДБЖ типу «off-line»	19
2.2 Структурні схеми ДБЖ типу «line-interactive».....	21
2.3 Структурні схеми ДБЖ типу «on-line».....	24
2.4 Структурні схеми ДБЖ ферорезонансного типу.....	28
2.5 Опис принципової схеми класичного ДБЖ.....	33
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	35
3.1 Опис структурної схеми проектованого ДБЖ.....	35
3.2 Розрахунок ємності і вибір АКБ.....	37
3.3 Розрахунок силового кола.....	38
РОЗДІЛ 4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	43
4.1 Моделювання процесів у ДБЖ	43
4.2 Елементна база джерела безперебійного живлення.....	50
4.3 Випробовування дослідного зразка	55
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

У цій пояснювальній записці застосовують такі скорочення:

АС-DC – перетворювач змінного струму в постійний;

DC-АС – перетворювач постійного струму в змінний;

ПБЖ – пристрій безперебійного живлення;

ДБЖ – джерело безперебійного живлення;

В – випрямляч;

БК – блок комутації;

АКБ – акумуляторна батарея;

КЗ – контролер заряду;

СК – силовий ключ;

І – інвертор;

Ф – фільтр;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

ІППН – імпульсний перетворювач постійної напруги;

ППС – перетворювачі постійного струму;

СН – стабілізатор напруги;

VT – транзистор;

VD – діод;

TV – трансформатор;

R – резистор;

C – ємність.

ВСТУП

На сьогодні користувачі побутової та промислової техніки, зокрема систем домашнього комфорту, таких як доступ до мережі INTERNET, телебачення, персональних комп'ютерів стикаються з проблемами надійного електропостачання. Це пов'язано з сьогоднішніми реаліями виробництва та дефіциту електроенергії.

Тобто, безперебійне забезпечення споживачів та електрообладнання з допомогою альтернативних джерел енергії є актуальною задачею. Все більше набувають поширення розробки як на аматорському рівні так і промислового джерел безперебійного живлення (ДБЖ), які дають змогу жити споживачі електроенергією змінного струму з допомогою накопичувачів енергії – акумуляторних батарей.

Але ці пристрої мають кілька недоліків. Це габарити і додаткові втрати енергії, що є наслідком двох зайвих процесів перетворення енергії. Джерело безперебійного живлення, включене в мережу, перетворює змінний струм мережі електроживлення 220 В на постійний струм, який накопичує у своєму акумуляторі. Потім цей постійний струм перетворюється назад на змінний і подається на вихід.

На сьогодні розроблено безліч технологічних рішень та продуктів для того, щоб перебої в електропостачанні не змінювали комфортних умов праці чи відпочинку. Системи безперебійного живлення давно вже стали невід'ємним компонентом засобів захисту комп'ютерного, телекомунікаційного та іншого обладнання. Застосування електронних систем керування та програмних додатків з контролю за процесами, що відбуваються, відкрило нові аспекти їх застосування.

Тому джерела безперебійного живлення (ДБЖ) повинні бути розроблені таким чином, щоб вони були здатні впоратися з широким спектром проблем, починаючи від коливань та стрибків напруги, високочастотних шумів, імпульсних перешкод і закінчуючи надійним електропостачанням.

Отже, розробка та випробовування ДБЖ є актуальною задачею. У випускній кваліфікаційній роботі магістра це показано на прикладі побудови ДБЖ, їх особливостей та сфери застосування. Правильна компоновка таких пристроїв, вибір оптимальної елементної бази дає змогу досягти максимального ККД і надійної роботи.

Актуальність теми випускної роботи магістра зумовлена широким застосуванням таких ДБЖ в промисловості та побуті.

Метою роботи є дослідження проектування та функціонування ДБЖ.

Наукова новизна одержаних результатів. Обґрунтовано способи побудови джерел безперебійного живлення.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть бути застосовані в перетворювальній техніці та силовій електроніці для отримання альтернативних джерел живлення.

Поставлена мета реалізується розв'язанням таких задач:

- провести огляд інформаційних джерел з точки зору аналізу сучасних способів отримання альтернативної енергії;
- дослідити електричні процеси, що відбуваються в ДБЖ;
- провести опис електричних схем різних типів ДБЖ;
- запроектувати та виготовити джерело безперебійного живлення і обґрунтувати надійність його роботи.

Об'єкт дослідження: джерела безперебійної потужності.

Предмет дослідження: процеси перетворення електричних параметрів та їх практичне застосування.

Результати кваліфікаційної роботи були апробовані публікацією тез (додаток А) «Найпростіша математична модель однофазного випростувача» у XIII-Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління», м. Луцьк, 28 листопада 2025 року. С. 86-89.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

1.1 Огляд літературних джерел в напрямку дослідження

Стрімкий розвиток в індустрії джерел безперебійного живлення безпосередньо пов'язані з областю інформаційних технологій. Широке поширення мереж INTERNET, комп'ютерних мереж кардинально збільшує можливості обробки та використання інформації. Для реалізації цих можливостей мережна інфраструктура повинна функціонувати надійно і одну та основних ролей у цьому відіграє електроживлення.

Згідно з результатами досліджень, проведених в Західній Україні, позаштатні (аварійні) ситуації виникають все частіше й частіше. Найчастіше зустрічаються збої електропостачання – це провали напруги (близько 80% випадків); високовольтні імпульси (близько 10%), повне відключення напруги (близько 5%) та занадто велика напруга (близько 1%).

Серед основних наслідків неякісного електроживлення мережевого обладнання можна виділити такі: тимчасові перебої у роботі мережі (викликає недоступність мережевих ресурсів), втрата даних, що зберігаються в оперативній пам'яті мережевих пристроїв та збої при телефонних викликах, вихід обладнання або окремих його вузлів з ладу. У загальному випадку можна виділити два підходи щодо резервування: організація захисту життєво важливих вузлів мережі та організація централізованої системи захисту [4].

У першому випадку від поломок електромережі захищається лише життєво важливе для функціонування мережі обладнання. Частина обладнання залишається незахищеним, тому при неполадках у мережі електроживлення можлива втрата оперативних даних та часткова недоступність мережевих ресурсів. Тим не менш, можливі перебої в роботі незахищених пристроїв не викликають зупинки всієї мережі. Вважається, що такий підхід забезпечує мінімально необхідний захист і в деяких випадках цього цілком достатньо.

Насправді втрата даних таки відбувається, можливий також вихід із ладу незахищеного обладнання, і не можна визначити точно, які дані і в якому об'ємі втрачені і чи була втрата даних взагалі. На практиці ця стратегія реалізується шляхом встановлення кількох джерел безперебійного живлення (ДБЖ) невеликої потужності, що захищають конкретні пристрої або групи пристроїв. Організація централізованої системи захисту обладнання потребує більш серйозного підходу.

Реалізація цієї стратегії мусить сприяти переробці інфраструктури мережі електропостачання. Крім того, витрати на придбання та підключення одного потужного або кількох паралельно працюючих ДБЖ можуть бути вищими, ніж у попередньому випадку. Водночас усі перелічені недоліки виправдовуються значно вищим рівнем захисту та нижчою сукупною вартістю системи, а також можливістю нарощування потужності та часу резервування, причому не тільки за рахунок установки додаткових акумуляторних батарей, а також шляхом підключення до автономних систем електропостачання [6, 7].

Може скластися так, що при реалізації даної стратегії замовнику доведеться переробити інфраструктуру мережі електропостачання. Крім того, витрати на придбання і підключення одного потужного або декількох паралельно працюючих ДБЖ можуть бути вищими, ніж у попередньому випадку. Разом з тим всі перераховані недоліки окуповуються значно вищим рівнем захисту і нижчою сукупною вартістю володіння подібною системою, а також можливістю нарощування потужності та часу резервування, причому не тільки за рахунок встановлення додаткових акумуляторних батарей, але й шляхом підключення до автономних систем електропостачання.

1.2 Загальна характеристика джерел безперебійного живлення

На сьогодні відомо десятки модифікацій щодо побудови ДБЖ. Розглянемо основні з них. Резервні ДБЖ або офф-лайн найдоступніші за вартістю через нескладність конструкції. Пристрої такого типу не оснащені

трансформаторами, тому сила струму на виході рівнозначна напрузі в мережі. При виході напруги за межі встановлених параметрів такий апарат автоматично переходить на живлення від батарей. Якщо в електромережі спостерігаються постійні перепади напруги, то постійно працюючі акумулятори швидко втрачають свою ємність і виходять з ладу [4].

Також їх можуть позначати як Standby або Off-line. За своєю суттю це найпростіші пристрої. Кожен такий ДБЖ має два основних елементи: власне акумуляторну батарею, а також датчик, який стежить за напругою і в разі її падіння вмикає ДБЖ. Він не захищає від імпульсних завад і перепадів напруги, а на виході дають апроксимовану синусоїду. Для деякого обладнання форма сигналу може бути дуже важлива, тому резервні ДБЖ підійдуть далеко не завжди. Інший їхній недолік у тривалому часі спрацьовування (підключення), він може бути до 20 мс, що досить багато.

Наприклад, багато ПК та іншого комутаційного обладнання можуть за цей час встигнути вимкнутися, тому якщо постає питання вибору ДБЖ слід урахувати, цей момент. Деякі типи таких ДБЖ можуть навіть спрацьовувати при зовсім незначному падінні напруги, тобто тоді, коли це фактично і не потрібно. Більш модернізовані моделі можуть мати можливість налаштувати цей параметр. Час роботи від такого ДБЖ залежить від конфігурації (споживаної потужності) підключеного обладнання і ємності АКБ.

Лінійно-інтерактивні ДБЖ є найбільш придатними для застосування в домашніх умовах – як за вартістю, так і за загальними можливостями. Такий пристрій зі стабілізатором здійснює регулювання рівня вхідної напруги і добре підходить для електромереж зі змінним струмом. Технічні характеристики цих пристроїв передбачають менший період часу перемикання на функціонування від АКБ в порівнянні з першим типом.

Інша перевага полягає у тому, що якщо напруга знизиться на незначну величину, то цей ДБЖ не буде задіювати живлення від акумулятора, на відміну від попереднього типу. Тому до лінійно-інтерактивних ДБЖ можна під'єднувати чутливу до перепадів напруги техніку.

Спрацьовують такі ДБЖ швидше, в середньому за 8 мс, що в 2,5 швидше, ніж у резервних. Але вони не можуть коригувати частоту вхідної напруги і її форму, а на виході дають або чисту синусоїду або апроксимовану форму, тому для деяких пристроїв цей тип не підійде. При виборі цього типу слід врахувати те, що деякі моделі можуть шумними із-за використання для роботи активного охолодження. Також термін служби акумулятора таких ДБЖ буде вищим із-за принципу їх роботи [6].

ДБЖ з подвійним перетворенням відносяться до обладнання професійного класу, вони відрізняються підвищеною потужністю і надійністю в експлуатації. Інша їх назва – ДБЖ онлайн типу. Принцип роботи пристроїв полягає в перетворенні постійного струму в змінний з подачею до навантаження. Такі ДБЖ безперервної дії відмінно зарекомендували себе при роботі вузлів зв'язку, в серверних кімнатах тощо. Незважаючи на те, що пристрої даного типу досить вартісні в порівнянні з іншими моделями, проте вони незамінні там, де спостерігаються часті проблеми з перепадами напруги в мережі живлення.

Крім того, слід окремо відзначити види ДБЖ з точки зору їх потужності. Такі параметри також необхідно враховувати при виборі пристрою, так як вони повинні повністю відповідати вимогам підключених до них систем. Наприклад, для збереження даних звичайного персонального комп'ютера абсолютно немає необхідності купувати потужний апарат. І навпаки, серверна схема з безліччю віддалених пристроїв не «потягне» пристрій з потужністю менше, ніж 1 кВА.

Крім того, підбираючи пристрій ДБЖ, потрібно враховувати їх відмінності за масою, габаритами, рівнем шуму. У цьому плані є певна закономірність – чим потужніший агрегат, тим важчі і масивніші будуть його форми. Тому для деяких агрегатів буде потрібно досить багато місця і спеціальних умов експлуатації.

Джерела безперебійного живлення з подвійним перетворенням також можуть називатися Double Conversion або On-line. З усіх видів за своїми

властивостями це найкращий і найсучасніший вид ДБЖ, але при цьому він і найдорожчий, оскільки його конструкція складніша. На вході встановлений випрямляч, який перетворює змінний струм в постійний, до якого підключена акумуляторна батарея. На виході з батареї встановлений інвертор, який перетворює постійний струм в змінний.

Така схема виглядає значно складніше, що і обумовлює високу вартість цього типу ДБЖ. Але натомість користувач отримує ряд переваг. Подібні ДБЖ не мають ніякої затримки перед перемиканням на живлення від батареї. На виході у них чиста синусоїда, вони регулюють не тільки напругу, але й частоту струму.

У роботі розглядається обладнання для живлення телекомунікаційного обладнання. Такі пристрої зазвичай оснащені імпульсним джерелом живлення, що може працювати в дуже широкому діапазоні напруги. Дослідження показали, що стандартні ПК чи малопотужні WI-FI роутери можуть працювати і при понижених напругах. Зі зменшенням напруги, щоб отримати ту саму потужність, імпульсний блок живлення споживає більший струм. Це означає, що його ресурс з меншими напругами може зменшуватися [6].

Зміна частоти не становить значної небезпеки для обладнання, оснащеного комутаційним джерелом живлення, але дуже низька частота зазвичай супроводжується сильним гармонічним спотворенням, що може негативно вплинути на роботу не тільки комп'ютера, але й ДБЖ. Крім того, багато типів ДБЖ середнього діапазону сприймають сильне зменшення частоти як аварійну аварію і починають споживати живлення акумулятора, що призводить до його пришвидшеного розряду. При експлуатації комутаційних джерел живлення в сильно перевантаженій мережі може відбутися спотворення синусоїдальної форми хвилі напруги. Це може бути виражено при відриві вершини синусоїди та появи гармонік.

Отже, перевантаження (тобто ситуації, коли струм в мережі вище, ніж номінальний або максимально допустимий) може відбуватися на різних рівнях системи живлення.

1.3 Вибір ДБЖ та його компоненти

Щоб правильно вибрати ДБЖ для певних задач, потрібно врахувати кілька важливих параметрів. Головним з них є потужність. Перед тим як розрахувати потужність ДБЖ залежно від навантаження, необхідно визначитися з переліком обладнання, яке буде підключатися до ДБЖ.

Потім слід визначитися з необхідним часом автономної роботи обладнання від джерела безперебійного живлення та визначитись чи планується збільшення навантаження найближчим часом. Якщо так, то вибираємо акумулятор більшої ємності та інвертор більшої потужності [3].

Потужність одиночного ДБЖ вибирається за двома критеріями (вибір здійснюється за найбільшим значенням):

- номінальне навантаження плюс запас 20 %. Коефіцієнт 1,2 потрібен для того, щоб забезпечити завантаження ДБЖ на рівні 80 %. Це дозволить мінімізувати роботу на максимальних навантаженнях;

- за перевантажувальною здатністю, що може становити 150 % протягом 30 секунд. На практиці для більшості ситуацій достатньо закладати в розрахунок 110...120 % перевантаження.

Далі потрібно провести розрахунок часу роботи ДБЖ. Він визначається ємністю і номінальною напругою акумуляторних батарей, а також потужністю навантаження.

Ці величини пов'язані формулою (1.1):

$$T = \frac{U \cdot E}{P}, \quad (1.1)$$

де T – час автономної роботи безперебійника в годинах;

U – напруга батареї;

E – ємність акумуляторів;

P – потужність навантаження.

Ця формула є приблизною. Вона не враховує ККД перетворювача, нелінійний характер кривої розряду, температуру навколишнього середовища та інші фактори.

В окремий аспект варто віднести характеристику акумуляторів, де є відразу кілька параметрів. По-перше, варто звернути увагу на можливість їх заміни. Також варто відзначити можливість підключення зовнішніх АКБ, які збільшать сукупну ємність і автономний час роботи. У деяких моделях така можливість реалізується дуже легко, потрібно лише купити додаткові АКБ.

Основні характеристики ДБЖ для побуту:

- потужність на виході, Вт – критерій, що відображає гранично можливе навантаження;
- час перемикання на живлення від акумулятора, мс;
- тривалість автономної роботи, хв, що залежить від енергоємності акумулятора і потужності підключеного обладнання;
- напруга на виході, В і її форма;
- діапазон і частота вхідної напруги, Гц;
- відхилення вихідної напруги від синусоїдної форми, %;
- функція холодного старту та максимальне навантаження ДБЖ, % до $P_{ном}$;
- термін служби АКБ ДБЖ.

Підсумуємо основні характеристики ДБЖ.

1. Діапазон вхідної напруги, при якій ДБЖ працює з мережі і не переходить на роботу з вбудованих акумуляторів. Як відомо, більший діапазон вхідної напруги зменшує кількість переходів на батарею і збільшує термін її служби. Крім того, ДБЖ з більш широким діапазоном вхідної напруги продовжують працювати з мережі та живити навантаження, в той час як ДБЖ з меншим діапазоном вже перейшли на живлення від акумулятора і, розрядивши її знеструмили навантаження. Це особливо актуально для наших електромереж, де спостерігаються тривалі «просідання» напруги.

2. Вихідна потужність – це основна характеристика ДБЖ, що показує на яке максимальне навантаження він розрахований.

3. Понижена напруга на виході ДБЖ здатна викликати збої в роботі обладнання та втрату даних, а значне підвищення напруги призводить до тих же результатів та ще й можливий вихід обладнання з ладу.

4. Параметри вихідної напруги під час роботи від батарей – напруга, частота, форма сигналу. Ці параметри визначають якість генерації, що забезпечується ДБЖ, від чого залежить застосування конкретного пристрою.

5. Процес перемикання ДБЖ на батарею та назад. Для нормальної роботи приєданого до ДБЖ обладнання всі перемикання та перехідні процеси мають бути «непомітними». Це означає, що вони мають комутуватись за мінімальний час та проходити коректно, зокрема, супроводжуватись правильною синхронізацією частоти ДБЖ із зовнішньою частотою мережі живлення.

6. Поведінка ДБЖ у разі перевантаження на виході. При перевантаженні в режимі роботи від батарей ДБЖ вимикається (для запобігання виходу з ладу). Якщо в процесі роботи від мережі виникло навантаження (наприклад, до ДБЖ було підключено додаткове обладнання), користувач повинен знати це, щоб вчасно зменшити навантаження. В іншому випадку при пропаданні напруги в мережі обладнання буде моментально знеструмлено. Найбільш ефективним є поєднання звукової та світлової індикації, тоді як деякі ДБЖ забезпечують лише світлову або не мають взагалі жодної індикації [2, 4].

7. Наявність «холодного» старту, тобто можливість увімкнути ДБЖ при відсутності напруги в промисловій мережі. Така функція може стати корисною, наприклад, якщо під час тривалого пропадання живлення потрібно увімкнути обладнання.

Таким чином, живлення малопротужної техніки, зокрема WI-FI роутерів повинне здійснюватися від того ж джерела гарантованого живлення, що й живлення абонентської мережі. При цьому в колі трансформацій: «постійний струм АБ» ⇒ «змінний синусоїдний струм частотою 50 Гц» ⇒ «постійний струм у блоці живлення» ⇒ «змінний струм високої частоти в блоці живлення» ⇒ «напруги постійного й змінного струмів для живлення модулів роутера» скорочуються перші два ступені.

У таблиці 1.1 систематизовано основні складові ДБЖ та умови їх функціонування.

Таблиця 1.1 – Функціональні вузли ДБЖ та їх пояснення [3] **ШАПКА?**

	Вузли ДБЖ	Призначення
1	Джерело безперебійного живлення	Комбінація перетворювачів, ключів і проміжних накопичувачів енергії (АКБ), що складають енергосистему, призначенням якої є безперервне живлення навантаження електроенергією в разі відмови в основному колі електропостачання
2	Перетворювач	Керований блок, призначений для силового електронного перетворення, що включає в себе один або більше електронних вентиляльних пристроїв, а також трансформатори, фільтри і вторинні кола у разі необхідності
3	Функціональний блок ДБЖ	Випрямляч ДБЖ, інвертор ДБЖ або силовий ключ
4	Випрямляч ДБЖ	Перетворювач струму або напруги з змінного в постійний з метою його випрямлення
5	Система накопичення енергії на стороні постійного струму	Акумуляторні батареї, призначені для забезпечення необхідного часу роботи в режимі запасеної енергії.
6	Коло постійного струму	Безпосереднє струмопровідне з'єднання між випрямлячем або випрямлячем/зарядним пристроєм і функціональним блоком інвертора
7	Акумуляторна батарея	Два або більше акумуляторів, з'єднаних разом і використовуваних як джерело електричної енергії
8	Зарядний пристрій батареї	Пристрій, призначений для перетворення змінного струму джерела електроенергії в постійний струм з метою зарядки батареї
9	Силовий ключ джерела безперебійного живлення	Некерований, не повністю або повністю керований, електронний або механічний, залежно від вимог до безперервності електроживлення, призначений для підключення (відключення) джерела безперебійного живлення або обвідного кола електропостачання до чи від навантаження
10	Переривник джерела безперебійного живлення	Силовий ключ джерела безперебійного живлення, здатний вмикати, проводити і вимикати струм у нормальних умовах експлуатації, вмикати і проводити струм протягом певного часу і вимикати струм за певних незвичайних умов експлуатації
11	Блок джерела безперебійного живлення	Повне джерело безперебійного живлення: інвертор ДБЖ, випрямляч ДБЖ та акумуляторна батарея або інші засоби акумулювання енергії, які з іншими блоками ДБЖ можуть працювати паралельно або як резервне ДБЖ

Роботи в цьому напрямку проводяться провідними вітчизняними та зарубіжними фірмами. Для систем зв'язку випускаються блоки живлення, розраховані на підключення до мережі постійного струму з номінальною напругою 12 В [3].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Структурні схеми ДБЖ типу «off-line»

На початку появи ДБЖ при відсутності потужних високовольтних напівпровідникових приладів ДБЖ розроблялися та вироблялися за простою та очевидною схемою, яка отримала назву «off-line». Функціонування такого ДБЖ досить просте. За наявності вхідної напруги перемикач у верхньому положенні вхідна напруга подається на вихід. При цьому на вході та виході можуть бути встановлені різноманітні фільтри [3].

Одночасно за допомогою зарядного пристрою проводиться заряд акумуляторних батарей. Інвертор вимкнений або працює на холостому ходу. При пропаданні або суттєвому зниженні вхідної напруги перемикач автоматично переводиться в нижнє положення і на вихід надходить напруга від інвертора, що споживає енергію, запасену в акумуляторних батареях.

Структурна схема «off-line» ДБЖ показана на рисунку 2.1.

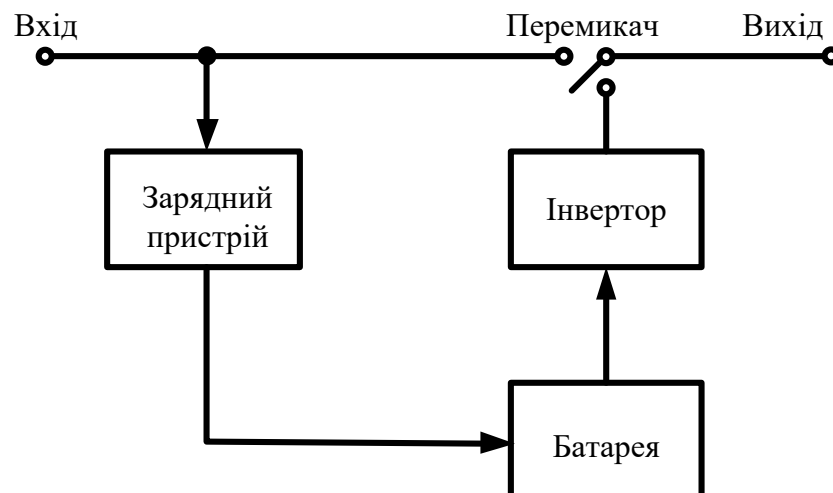


Рисунок 2.1 – Структурна схема «off-line» ДБЖ

Одним із основних недоліків, зокрема відсутності стабілізації при роботі від вхідної напруги, є наявність перерви подачі напруги на навантаження від (2...3) мс до (5...7) мс при переході на живлення від акумуляторної батареї та

назад. Це явище часто викликає збої та завади в роботі чутливої апаратури, і вкрай небажане для споживача.

Внаслідок спроб усунення окремих недоліків ДБЖ «off-line» надалі починають з'являтися різні модифікації на основі тієї ж структурної схеми (standby-ferro, standby on-line, backup, line-interactive та інші).

На рисунку 2.2 показано топологію реалізації схеми «off-line».

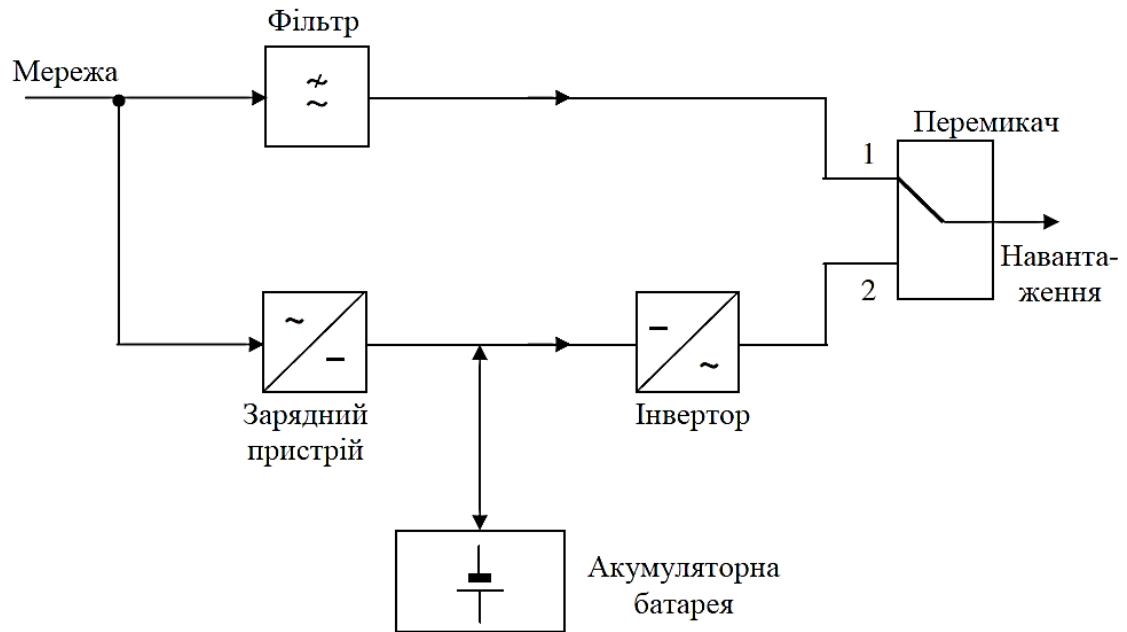


Рисунок 2.2 – Реалізація схеми «off-line»

У кожний конкретний момент часу ДБЖ може перебувати в одному з двох режимів роботи – Stand-by або On-line. У випадку, коли напруга в мережі знаходиться в допустимих межах (Standby mode), перемикач переключений на протікання струму навантаження по колу «мережа-фільтр». У цьому режимі ДБЖ нічим не відрізняється від звичайного мережевого фільтра. Ніякої стабілізації напруги не відбувається. Під час роботи в цьому режимі також відбувається зарядка акумуляторних батарей ДБЖ [5].

У випадку виходу напруги мережі за допустимі межі, перемикач перемикається на живлення навантаження по колу «зарядний пристрій-АКБ-інвертор» (On-line mode), тобто споживає енергію акумуляторної батареї, що перетворюється інвертором в змінну синусоїдну напругу 220 В. Так як

перемикання контактів і запуск інвертора не можуть відбуватися миттєво, живлення навантаження буде перервано на деякий час (Transfer Time). Більшість Standby ДБЖ забезпечують Transfer Time порядку 4...8 мс.

Особливість даної системи в тому, що перемикання в On-Line при виході напруги мережі за допустимі межі відбувається миттєво, а повернення в Standby mode – з обов'язковою затримкою в кілька секунд. Інакше, при багаторазових стрибках напруги в мережі, відбувалося би безперервне перемикання Standby / On-Line і навпаки, що привело б до значних спотворень струму навантаження і можливого виходу його з ладу або до збою в його роботі [5, 6].

При цьому слід врахувати, що дана схема зазвичай не має можливості стабілізації напруги при роботі в Standby mode і, отже, переходить в On-Line при кожному відхиленні напруження мережі.

Розряд акумуляторної батареї відбувається набагато швидше, ніж зворотний заряд. Потужність АКБ для даної схеми зазвичай вибирається середньою, і витрати енергії від батарей під час резервування не компенсує. Отже, для застосування у разі низької якості напруги мережі дана топологія ДБЖ малопридатна. Це пояснюється двома причинами:

– при частих переходах в On-Line батарея досить швидко розряджається, не встигаючи відновити заряд за час Standby mode, в результаті чого ДБЖ втрачає здатність забезпечити аварійне живлення навантаження протягом необхідного часу;

– часте повторення циклів розряд-заряд скорочує термін служби акумуляторних батарей. Тим не менш, за даною схемою побудовано багато дешевих ДБЖ з потужностями від 0,2 до 2 кВт.

2.2 Структурні схеми ДБЖ типу «line-interactive»

Іншою сучасною на сьогодні є модифікація ДБЖ, що отримав назву «line-interactive». Структурна схема представлена на рисунку 2.3. Приклад функціонування пристрою аналогічний раніше розглянутому ДБЖ «off-line».

Однак при роботі від вхідної мережі 220 В 50 Гц та коливаннях напруги відбувається автоматичне перемикання відводів трансформатора бустера і на виході ДБЖ підтримується напруга з точністю $\pm 10\%$.

При пропаданні напруги на вході та переходу ДБЖ на роботу від акумуляторних батарей перемикач переходить у нижнє положення та живлення навантаження відбувається вихідною напругою інвертора. При цьому напруга на виході інвертора має синусоїдну форму (на виході інвертора ДБЖ off-line – прямокутна), і воно стабілізоване за величиною (точність стабілізації 1...3 %). Однак наявність контактних перемикачів та низьковольтного інвертора не дозволило ДБЖ класу off-line та line-interactive у масовому порядку перейти границі потужностей вище 3 кВт [1, 4].

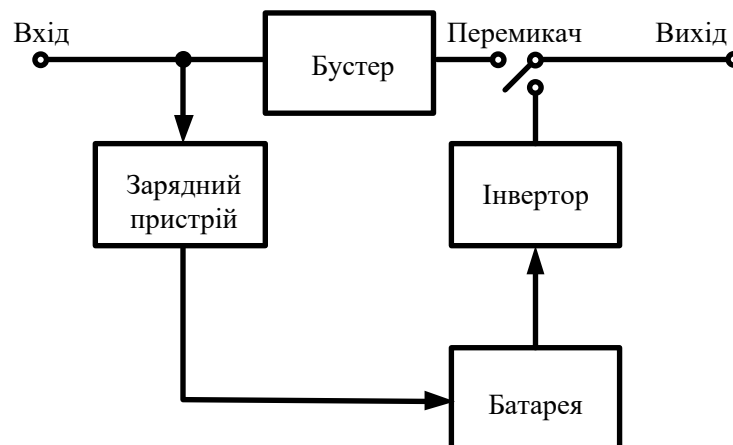


Рисунок 2.3 – Структурна схема «line-interactive» ДБЖ

У схемі, що зображена на рисунку 2.4 інвертор завжди приєднаний до виходу ДБЖ і являє собою складний вузол, на який покладається завдання стабілізації та фільтрації мережевої напруги, стеження за її рівнем, контролем заряду батареї при нормальній напрузі мережі (у моделях Smart-UPS) і переходу на батарейне живлення при аварійних рівнях мережевої напруги. Завдяки широкому діапазону стабілізації напруги ця схема здатна працювати в нормальному режимі за умов, коли standby ДБЖ вже перейшов би на батарейне живлення.

Це робить цю схему найбільш придатною для роботи в електромережі невисокої якості.

« Одним з видів «line-interactive» є ДБЖ, що мають у своєму складі ферорезонансний трансформатор з комутаційними входами, на один із яких подається мережна напруга, а до виходу підключене навантаження. При зникненні мережної напруги, на вхід трансформатора підключається вихідна напруга інвертора, що живиться від акумуляторної батареї » [5].

Незважаючи на істотне збільшення габаритів і ваги ДБЖ, використання ферорезонансних властивостей трансформатора дозволяє істотно поліпшити якість вихідної напруги.

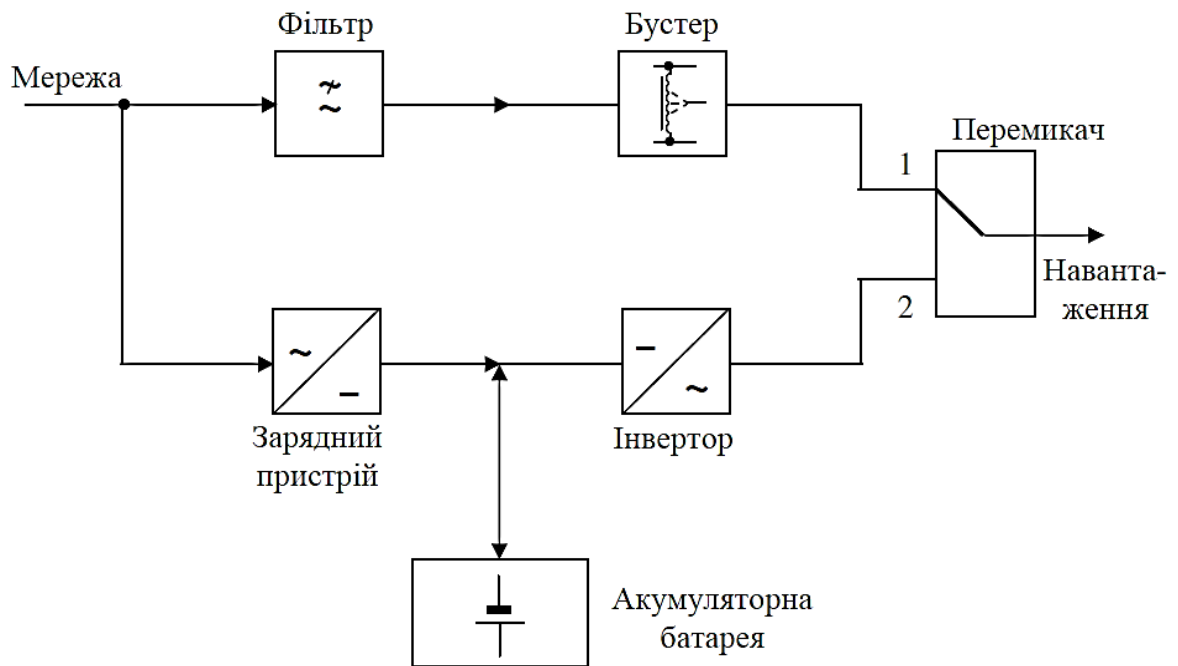


Рисунок 2.4 – Реалізація схеми «line-interactive»

Різновидом line-interactive є також гібридні ДБЖ. Тут напруга мережі випрямлячем трансформується в проміжну постійну, а потім поступає на вхід інвертора (DC-AC), який живить навантаження. Вхід інвертора при відсутності напруги перемикається на живлення від АКБ, напруга якої підвищується за допомогою DC/DC конвертора.

2.3 Структурні схеми ДБЖ типу «on-line»

З появою відповідної напівпровідникової елементної бази (транзисторів, тиристорів) з'явилася нова структура ДБЖ, яка отримала назву «on-line» або ДБЖ із подвійним перетворенням. У них вся енергія, необхідна для навантаження, двічі перетворюється на шляху прямування з входу до виходу. Перше – перетворення з змінного входного в постійна напруга заряду батареї та живлення інвертора. Друге – постійна напруга живлення інвертора перетворюється на синусоїдальн стабілізована вихідна напруга ДБЖ. Структурна схема ДБЖ, побудованого за цим принципом, наведено на рисунку 2.5.

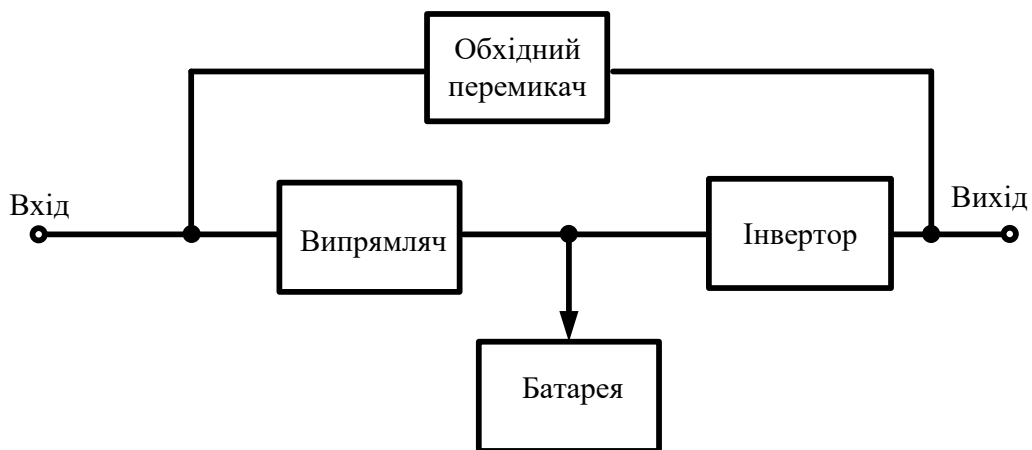


Рисунок 2.5 – Структурна схема «on-line» ДБЖ

У штатному режимі роботи регульований випрямляч забезпечує підтримку на акумуляторній батареї напруги, необхідної для підтримки її у зарядженому стані. На вході інвертора – постійна напруга, що дорівнює напрузі на батареї. Тут інвертор живиться через акумуляторну батарею. Інвертор, як уже говорилося вище, формує на виході синусоїдну, стабілізовану напругу.

У разі зникнення входної змінної напруги інвертор продовжує живитися від акумуляторної батареї і в його роботі ніяких змін, як і у вихідній напрузі ДБЖ, не відбувається [1, 4].

Таким чином, практично будь-які аварійні ситуації чи збурення у вхідних мережах змінного струму не позначаються на вихідній напрузі ДБЖ класу on-line, а значить, і підключеного до нього навантаження. Додатковою ланкою ДБЖ є обхідний перемикач. Його замикання призводить до безпосередньої передачі на вихід вхідної відфільтрованої напруги. Це необхідно у кількох випадках.

Якщо при ввімкненні імпульсного навантаження короточасні імпульсні струми вмикання багаторазово перевищують можливості інвертора, то замикання обхідного перемикача дозволяє подати на цей час додаткову енергію безпосередньо із входу.

За наявності двох вхідних мереж та підключення входу випрямляча до першої, а обхідного перемикача – до другої. При виході з ладу першої мережі та розряді акумуляторної батареї обхідний перемикач замикається та подає на навантаження напругу від другої мережі.

Під час аварії перетворювача навантаження продовжує отримувати електроживлення через замкнутий обхідний перемикач. За рахунок високочастотного перетворення потужності, швидкодіючих напівпровідникових обхідних ключів та мікропроцесорного керування різко зменшуються габарити ДБЖ і з'являється можливість реалізації програмного ввімкнення (вимкнення) принципово нового економічного режиму роботи.

Суть його в тому, що при задовільних параметрах вхідної напруги живлення навантаження здійснюється через обхідний ключ. Потужний швидкодіючий процесор безперервно аналізує параметри вхідної мережі та при відхиленні їх без перерви живлення навантаження підключає на вихід ДБЖ напругу з виходу інвертора, а ДБЖ переходить у стандартний режим «on-line».

Робота ДБЖ в такому економічному режимі дає змогу з урахуванням короточасних переходів у стандартний режим «on-line», отримувати ККД до 99 %, надзвичайно низьку теплову потужність, що виділяється, і відповідно підвищену надійність ДБЖ [4].

Керування режимами роботи цими ДБЖ проводиться програмно через порт PS232. Необхідно одночасно відзначити, що практично всі ДБЖ, що випускаються в даний час провідними фірмами-виробниками, незалежно від типу оснащені мікропроцесорним контролем, здатні працювати у взаємодії з комп'ютерними мережами та окремими комп'ютерами.

На рисунку 2.6 показано топологію «True On-Line». Вона подібна до Standby, але інвертор у ній працює безперервно і перемикаць режиму його роботи при аварії вхідної напруги мережі не відбувається. За наявності живлячої напруги в мережі потужність, потрібна інвертором від батареї, повністю компенсується зарядним пристроєм (випрямлячем). Bypass switch забезпечує подачу напруги мережі безпосередньо з входу на вихід (у разі аварії інвестора або необхідності заміни батарей «на ходу»).

Ця топологія застосовується в тих випадках, коли захищається обладнання дуже чутливе до якості живильної напруги. Вона забезпечує найвищий рівень захисту електрообладнання. Типові потужності ДБЖ, що будуються за даною топологією – від 0,7 до 3 кВт.

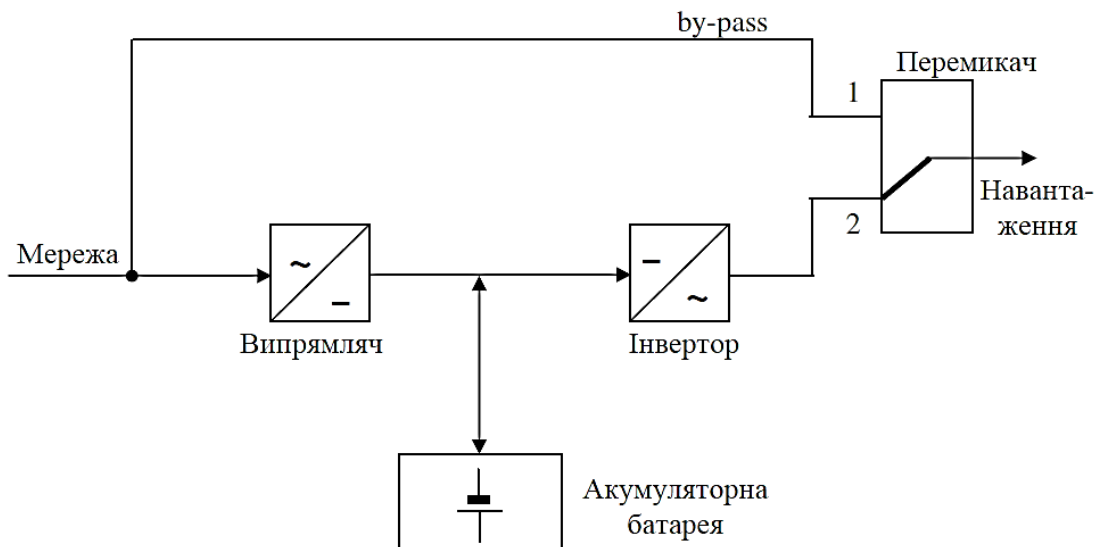


Рисунок 2.6 – Топологія «True On-Line»

Bypass (рис. 2.7) є тиристорним ключем із зустрічних паралельно-ввімкнених електронних ключів (тиристорів). Керування тиристорами

здійснюється від системи керування ДБЖ при виникненні перевантаження і в економному режимі роботи [1].

В обох випадках напруга інвертора синхронізується з напругою на вході (by-pass) та з імпульсами керування тиристорами, що дає змогу перекинути навантаження з інвертора на (by-pass) і зворотно без розриву синусоїди.

Іншим різновидом топології «True On-Line» є технологія «дельта-перетворення». Структурна схема ДБЖ із дельта-перетворенням (рис. 2.8) містить два інвертори-випрямлячі, виконані за чотириквadrантною схемою, системи керування та акумуляторної батареї. Два інвертори працюють подібно як випрямлячі для заряду батареї.

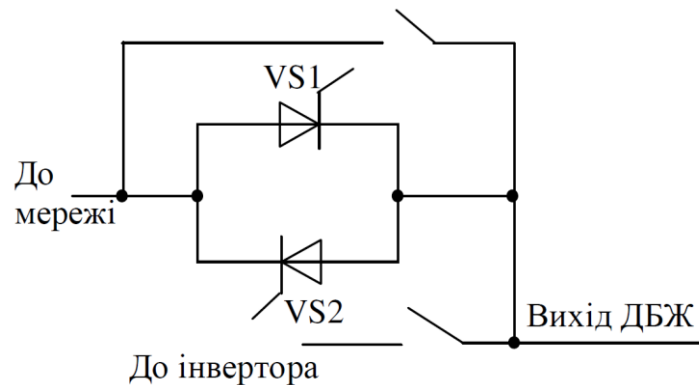


Рисунок 2.7 – Пристрій обхідного шляху (by-pass)

Наприклад, якщо в електромережі відбувається падіння напруги, то пристрій 2 працює як інвертор, а пристрій 1 – як випрямляч. При збільшенні напруги – навпаки. Перший інвертор (delta converter) зазвичай розрахований приблизно на 20 % від вихідної потужності ДБЖ і через дельта-трансформатор з'єднаний послідовно з колом живлення навантаження від промислової електромережі.

Другий інвертор розрахований на 100 % вихідної потужності ДБЖ і призначений для живлення навантаження при роботі від батарей. Bypass switch, як і в попередній топології, забезпечує безпосереднє живлення навантаження від електромережі у разі несправності ДБЖ або його тимчасове відключення при плановому обслуговуванні.

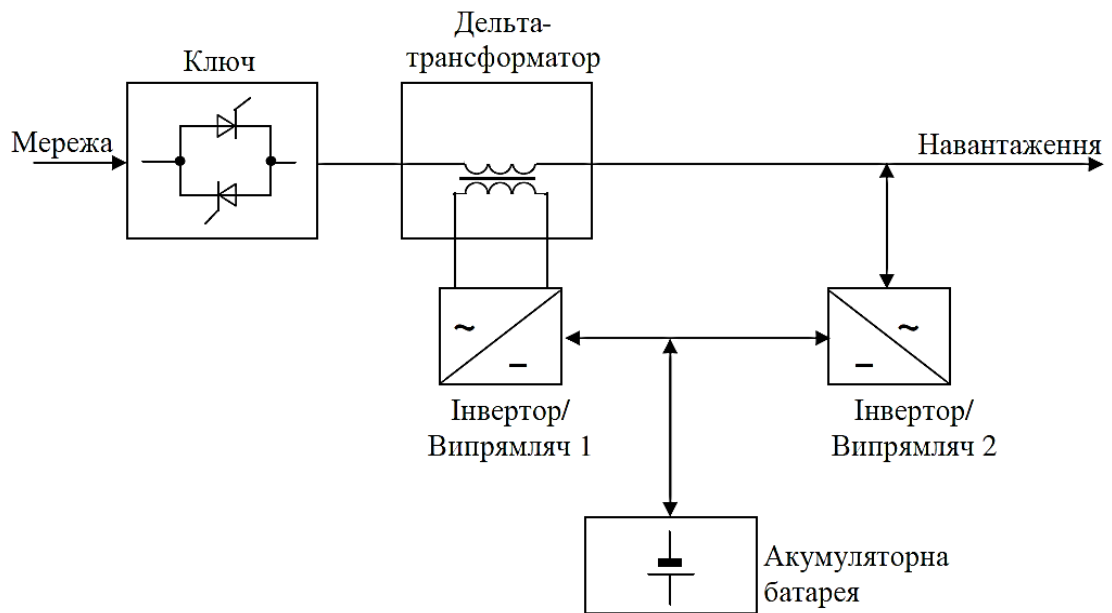


Рисунок 2.8 – Структурна схема «on-line delta-conversion»

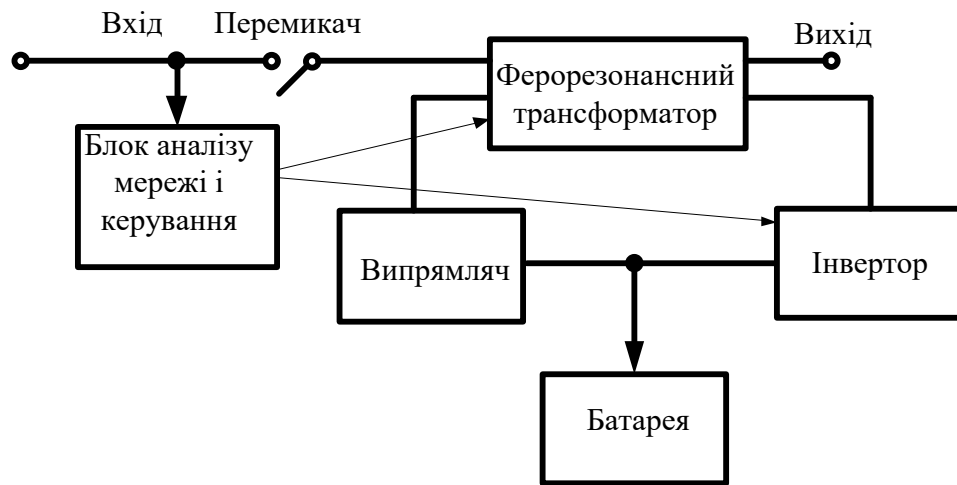
«В ДБЖ із дельта-перетворенням трансформатор має додаткову обмотку, на яку з дельта-інвертора подається коригуюча напруга, пропорційна відхиленням вхідної напруги від синусоїдної форми, але є протилежною за фазою. Таким чином, вхідна напруга не піддається повному подвійному перетворенню, а за рахунок зворотного зв'язку відновлюється його форма і усувається фазовий зсув між струмом і напругою» [5].

2.4 Структурні схеми ДБЖ ферорезонансного типу

Ферорезонансні ДБЖ представлені на ринку України є єдиною серією приладів. Це Ferrups компанії Best Power Technology. Таким чином, завдання розгляду цього типу ДБЖ зводиться до аналізу схеми та характеристик цієї серії ДБЖ.

На рисунку 2.9 показано структурну схему ферорезонансного ДБЖ. Порівняємо цю схему зі схемами, розглянутими вище, тобто такими, що взаємодіють з мережею. По суті, є одна головна відмінність – замість автотрансформатора з відведеннями у схемі ферорезонансного ДБЖ з'явився ферорезонансний трансформатор. Але його наявність радикально змінює

роботу ДБЖ і дозволяє віднести такий ДБЖ до іншого класу пристроїв, що забезпечують вищий рівень захисту навантаження [5].



Риунок 2.9 – Структурна схема ферорезонансного ДБЖ

Оскільки саме трансформатор значною мірою визначає властивості цього ДБЖ, розглянемо спочатку докладніше роботу ферорезонансного трансформатора. Ферорезонансний трансформатор призначений для роботи як стабілізатор напруги. Він є сукупністю двох магнітних кіл зі слабким зв'язком між ними. Вихідне коло містить паралельний коливальний контур, що підживлюється від первинного кола для компенсації потужності, що надходить у навантаження.

Сам процес феромагнітного резонансу цілком аналогічний резонансу в лінійних колах з індуктивностями і ємностями. У нелінійному колі, такому як ферорезонансний трансформатор, резонанс використовується для зменшення коливань напруги у вторинному колі. У ферорезонансному трансформаторі один з магнітних кіл (вихідне) знаходиться в режимі насичення, а інше (вхідне) не досягає насичення. Великі зміни вхідної напруги не можуть призвести до значних змін напруги на виході через насичення вихідного магнітного кола.

Стабілізатори напруги побудовані на основі ферорезонансного трансформатора мають широкий діапазон вхідної напруги (від приблизно

130 В при неповному навантаженні). Сучасні ферорезонансні трансформатори влаштовані дещо складніше. Вони мають нейтралізуючу обмотку, спеціально призначену для зменшення гармонійних спотворень вихідної напруги.

Нейтралізуюча обмотка влаштована так, що в ній генеруються гармоніки, що знаходяться в протифазі до гармоніки в основній вихідній обмотці. Правильний підбір числа витків та магнітних опорів дозволяє за рахунок послідовного з'єднання нейтралізуючої та основної вихідної обмотки повністю компенсуватиме гармонійні спотворення [2].

Струм, що споживається ферорезонансним трансформатором майже синусоїдний. Коефіцієнт гармонійних спотворень струму дуже невеликий. Найбільш важливо те, що коефіцієнт гармонічних спотворень залишається невеликим незалежно від того, яке навантаження підключене до трансформатора – лінійне або нелінійне. На рисунку 2.10 представлено основну для будь-якого стабілізатора напруги характеристику – залежність вихідної напруги від напруги на вході.

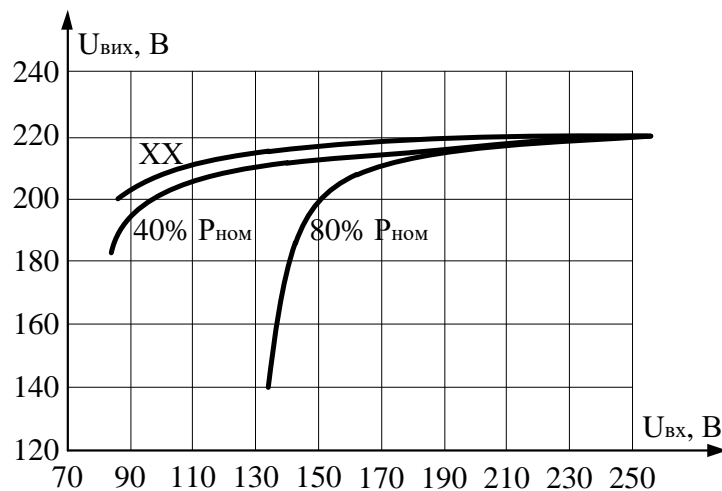


Рисунок 2.10 – Залежність $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$ для ферорезонансного ДБЖ

При повному навантаженні ферорезонансний трансформатор забезпечує стабілізацію напруги з похибкою близько 1 % при зміні напруги на вході на 15 % щодо номінальної. Ферорезонансний трансформатор здатний витримувати будь-які навантаження.

При зменшенні опору навантаження вихідна напруга зменшується і трансформатор не перегрівається. Навіть при короткому замиканні вихідний струм трансформатора обмежується приблизно 150...200 % номінального струму. Сумарна потужність, яку споживає трансформатор від мережі під час короткого замикання, не перевищує 10 % від номінальної. Недоліком ферорезонансного трансформатора є залежність вихідної напруги від частоти електричної мережі. При зміні частоти на 1 % вихідна напруга змінюється приблизно 1...1,5 %. Збільшення частоти призводить до росту напруги [2, 4].

У ферорезонансному ДБЖ, крім стабілізації напруги, ферорезонансний трансформатор виконує і кілька інших функцій. У разі збою електричної мережі ферорезонансний трансформатор забезпечує обладнання електрикою за рахунок енергії, накопиченої в його магнітному полі. Це триває 8...16 мілісекунд. Цього часу достатньо для всіх необхідних перемикачів та виходу інвертора на номінальний режим роботи. Таким чином, ферорезонансний ДБЖ забезпечує дійсно безперебійне живлення малопотужного обладнання, володіючи властивостями on-line ДБЖ.

Ферорезонансний трансформатор також забезпечує ефективне придушення шумів та імпульсів, що дає можливість не використовувати інші, спеціальні, схеми для їх придушення.

Ферорезонансний трансформатор, що використовується в ДБЖ, має незалежні первинні та вторинні обмотки, тобто, забезпечує повну гальванічну ізоляцію навантаження від електричної мережі. Ця властивість підвищує надійність систем безперебійного живлення та дозволяє використовувати ферорезонансні ДБЖ для захисту обладнання.

Найпростіший випадок використання ферорезонансного ДБЖ – це переведення його в режим кондиціонера електроживлення. У цей режим роботи ДБЖ переводиться в цей стан примусово за допомогою перемикача на панелі керування. Як впливає з назви режиму, в цей час ДБЖ виконує функції кондиціонера електричної мережі, тобто стабілізує напругу та фільтрує електричні шуми та імпульси. Інвертор ДБЖ заблоковано.

Строго кажучи, в цьому режимі роботи прилад не є джерелом безперебійного живлення, оскільки у разі зникнення напруги в мережі він не зможе підтримати роботу свого навантаження.

У режимі роботи від мережі ДБЖ працює так само, як і в режимі кондиціонера живлення, стабілізуючи та фільтруючи мережеву напругу. Випрямляч ДБЖ автоматично заряджає батарею ДБЖ.

Інвертор та батарея ДБЖ постійно знаходяться наготові, і як тільки блок аналізу мережі виявить збій мережі, який не може бути усунений за допомогою ферорезонансного трансформатора, негайно вмикається інвертор та ДБЖ переходить на режим роботи від батареї [1, 2].

За командою блоку аналізу мережі, у разі виникнення збою електроживлення, вмикається інвертор ДБЖ. Ввімкнення здійснюється так, щоб напруга інвертора була у фазі з напругою електричної мережі. Електрична мережа після цього відключається від входу ферорезонансного трансформатора, але контролюється блоком керування та аналізу мережі.

У момент перемикання на режим роботи від батареї ДБЖ продовжує постачати електроенергією навантаження, використовуючи магнітну енергію, накопичену у ферорезонансному трансформаторі, що володіє великою індуктивністю. У цей момент ферорезонансний трансформатор виконує функцію «маховика», що допомагає ДБЖ «проскочити» момент перемикання, не перериваючи живлення навантаження. Протягом часу виходу інвертора режим вихідна напруга встигає зменшитись на кілька відсотків.

На режимі роботи від батареї ДБЖ інвертор ДБЖ продовжує подавати напругу до навантаження, витрачаючи заряд батареї. Після вичерпання заряду, коли напруга на батареї стає меншою від мінімально допустимої, ДБЖ вимикає інвертор і навантаження знеструмлюється [4].

Якщо напруга в мережі відновлюється раніше вичерпання заряду батареї, ДБЖ починає підготовку до переключення на режим роботи від мережі. У цей час блок керування стежить за зміною різниці фаз між виходом інвертора та мережею. У момент, коли різниця фаз виявляється рівною нулю,

ферорезонансний трансформатор підключається до електричної мережі, а інвертор припиняє роботу.

2.5 Опис принципової схеми класичного ДБЖ

При проектуванні ДБЖ бажано, щоб у всіх режимах своєї роботи на виході ДБЖ напруга мала б вигляд синусоїди. Формування синусоїди, в режимі перетворювача, пов'язане з певними труднощами, вирішення яких призводить до збільшення маси та вартості ДБЖ. Це пояснюється і ціною політикою ДБЖ, що мають правильну синусоїду і прямокутну. Практика показала, що звичайне електроустаткування (крім малопотужних електродвигунів) цілком добре працює на прямокутній напрузі, яка формується з набагато меншими апаратними затратами, ніж синусоїда. У разі крайньої необхідності отримання синусоїдної напруги, можна жити навантаження ДБЖ через ферорезонансний стабілізатор, який був розглянутий вище і в цьому випадку відіграє роль фільтра першої гармоніки [4].

Щоб зрозуміти процеси перетворення енергії продемонструємо роботу класичного ДБЖ, електрична схема якого показана на рисунку 2.11. Для забезпечення стійкого запуску побутового електроустаткування та підвищення надійності роботи, необхідно обладнати ДБЖ швидкодіючим електронним захистом по струму та інерційним тепловим захистом плавким запобіжником.

«При коливанні напруги мережі живлення в діапазоні від 165 В до 242 В ДБЖ працює в режим коректора мережевої напруги, забезпечуючи на вихідній напругу $220\text{В} \pm 10\%$ і, при необхідності, заряджає акумулятор. На відміну від імпортованих UPS, які здебільшого відстежують тільки зниження напруги мережі, пропонується ДБЖ контролює підвищення напруги мережі вище 242 вольт. У разі відключення напруги мережі живлення або виходу його величини за вказані межі, ДБЖ швидко (за час не більше 20 мсек) переходить у режим перетворювача електроенергії та перетворює напругу акумуляторної батареї в змінну напругу $220\text{В} \pm 10\%$, $50\text{Гц} \pm 1\%$ » [8].

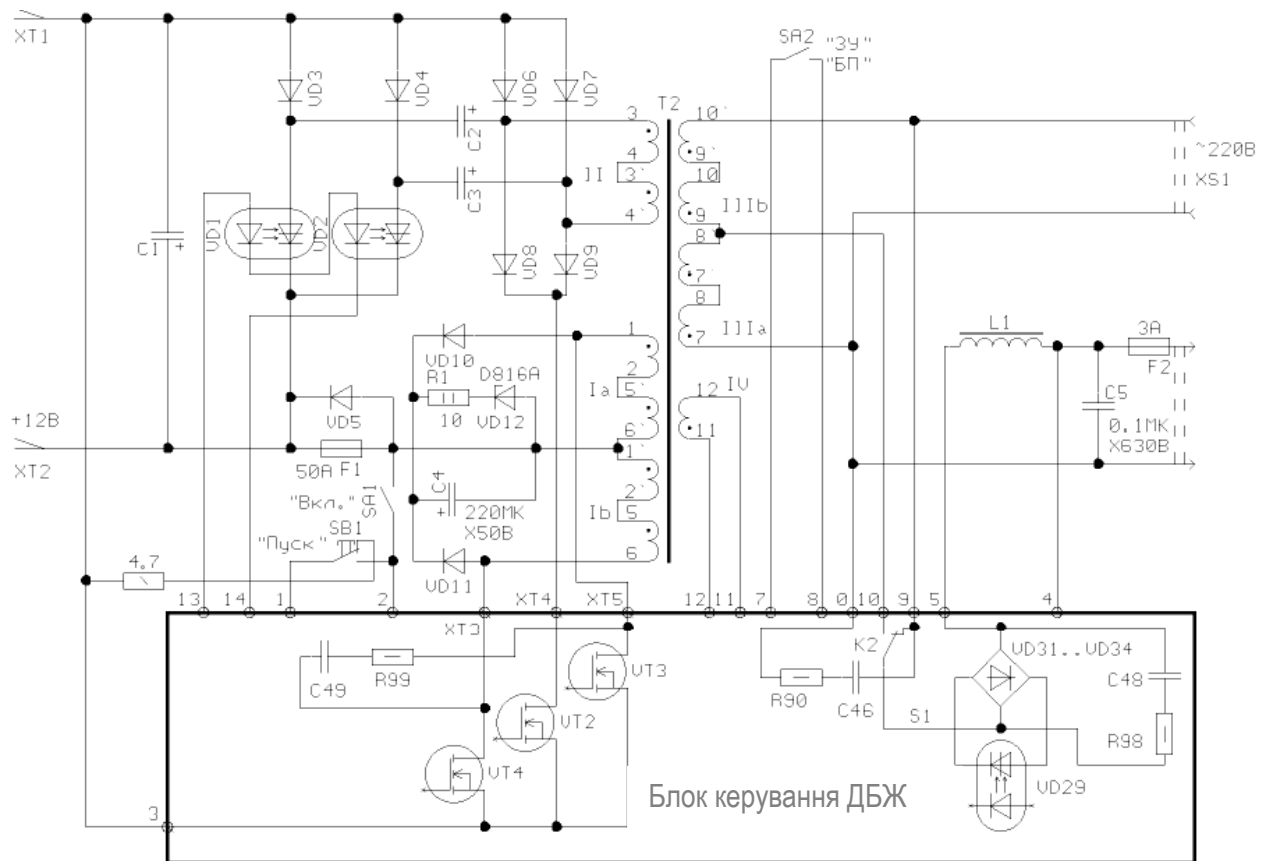


Рисунок 2.11 – Силова електрична схема ДБЖ

Після відновлення нормальної напруги живильної електромережі ДБЖ швидко (знову ж таки за час не більше 20 мсек) переходить в режим коректора напруги. Крім цього ДБЖ у своєму складі містить автоматичний зарядний пристрій, який, за наявності мережевої напруги, здійснює повну зарядку акумуляторної батареї струмом 1 А.

У режимі перетворювача ДБЖ не допускає повної розрядки акумуляторної батареї (що може призвести до її пошкодження), і відключається від неї, якщо напруга акумулятора знизилася до мінімальної величини 10,8 В. У цьому випадку ДБЖ переходить у черговий режим і перебуває в ньому до моменту появи напруги мережі. Після появи напруги мережі ДБЖ переходить у режим коректора напруги та автоматичного зарядного пристрою.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Опис структурної схеми проектованого ДБЖ

На основі проведеного аналізу проектований ДБЖ виконуватимемо за схемою, представленою на рисунку 3.1.

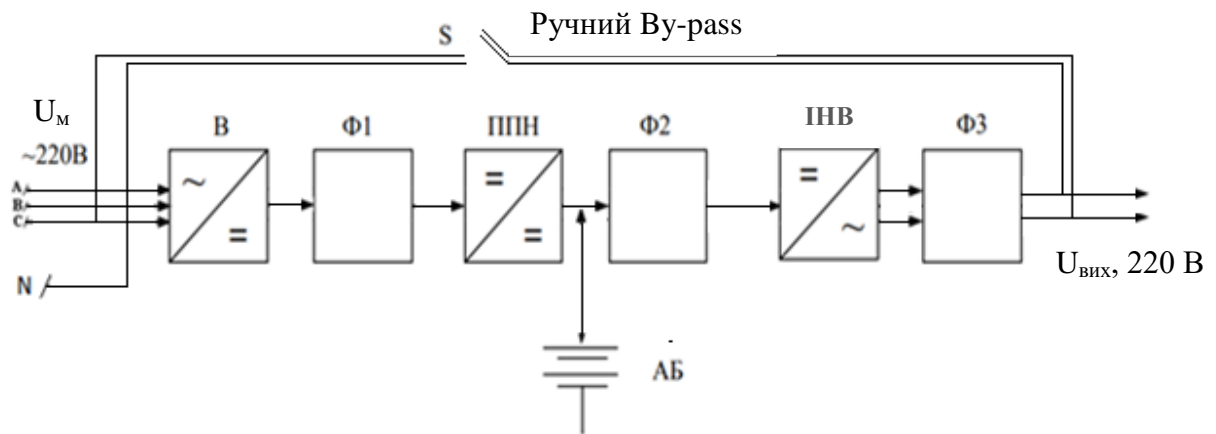


Рисунок 3.1 – Структурна схема ДБЖ

Випрямляч В перетворює однофазну напругу мережі змінного струму, що надходить на вхід, в напругу постійного струму. Випрямлена напруга фільтрується Г-подібним фільтром Ф1, далі за допомогою підвищувача напруги ППН, відфільтрована напруга підвищується до необхідного рівня і фільтрується фільтром Ф2. Відфільтрована підвищена напруга постійного струму перетворюється на напругу змінного струму інвертором, фільтрується фільтром Ф3 і поступає на навантаження [3, 7].

У випадку потреби навантаження може підключатися через байпас до мережі. Залежно від стану мережі та величини навантаження, ДБЖ з подвійним перетворенням може працювати у різних режимах: мережевому, автономному, байпас та інших. При наявності напруги в межах допустимого відхилення, і навантаження, що не перевищує максимально допустиме, ДБЖ працює в мережному режимі. При цьому режимі здійснюється фільтрація імпульсних та високочастотних мережевих перешкод, перетворення енергії

змінного струму мережі в енергію постійного струму за допомогою випрямляча та схеми корекції коефіцієнта потужності та перетворення за допомогою інвертора енергії постійного струму на енергію змінного струму зі стабільними параметрами.

Розроблена схема малопотужного ДБЖ для роутера та інших подібних девайсів має два режими роботи: робочий і очікування. Така схема показана на рисунку 3.2. В режимі очікування пристрій, який включений в ДБЖ живиться від мережі через замкнуту контактну пару реле модуля перемикання аварійного джерела живлення (МПАДЖ).

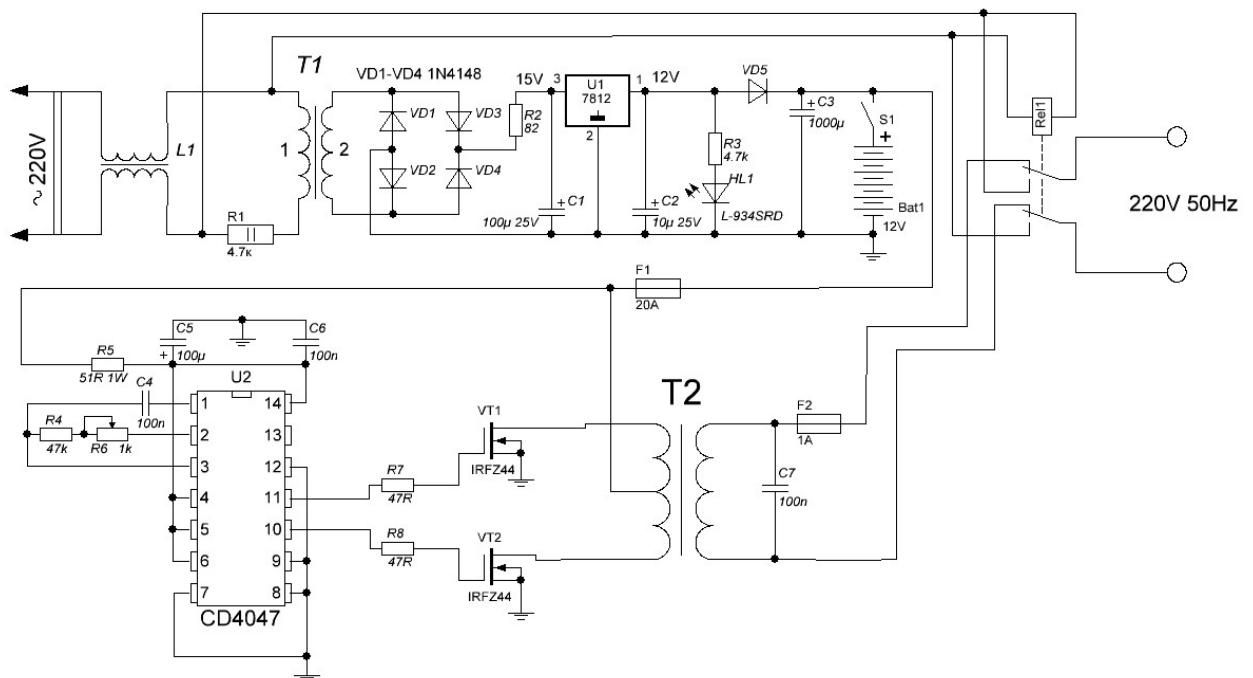


Рисунок 3.2 – Принципова схема джерела безперебійного живлення

При цьому здійснюється режим зарядки АКБ. Напруга мережі (+) через адаптер надходить на МПАДЖ, контакти реле якого замкнені. При цьому сам інвертор працює в режимі холостого ходу. Це потрібно для того, щоб під час переходу ДБЖ з режиму очікування в робочий зекономилось декілька мікросекунд.

«В робочому режимі коли напруга мережі відсутня, а контактна група реле розімкнута, навантаження, яке було підключене до мережі,

підключається до інвертора. Інвертор знаходячись в режимі очікування переходить в робочий режим. Напруга 12 В з батареї поступає на мультівібратор, що керує польовими транзисторами VT1, VT2. Вони працюють по черзі, тобто в кожен момент часу відкритий тільки один з них. Елементи R4, R6 і C4 задають частоту роботи генератора, а R7, R8 зменшують струм на затворі транзисторів. Завдяки середній точці в трансформаторі T2 і почерговому відкриванні польових транзисторів VT1,VT2 створюється змінне магнітне поле, яке індукується у вторинній обмотці з напругою 220 В і частотою 50 Гц» [8].

Силова частина виконана на діодах та транзисторах, які працюють у режимі електронних ключів.

3.2 Розрахунок ємності і вибір АКБ

Розрахунок зводиться до вибору необхідних елементів для схеми проєктованого ДБЖ. У ДБЖ як джерело енергії застосовуються акумуляторні батареї, які забезпечують систему постійною напругою. У більшості випадків у батареї з 6 секцій напруга заряду становить 13,8, напруга розряду 10,8 В. Використаємо АКБ літій-іонного типу ємністю 20 А·год.

Оптимальним струмом заряду акумуляторних батарей вважається струм, відповідний 10% номінальної ємності АКБ. Нормальний заряд триватиме близько 10 годин, для прискорення процесу заряджання, можливо, необхідно збільшити струм заряду до 20% номінальної ємності АКБ.

Акумуляторні батареї у схемах ДБЖ on-line типу в нормальному режимі заряджаються постійно. Перезаряджання не відбувається, тому що зарядний струм зменшується після того, як напруга на виходах батареї перестав підвищуватись. Це спрощує вимоги до зарядного пристрою батареї [7, 9].

Орієнтовний час безперебійної роботи від АКБ (12 В) WI-FI роутера визначимо за формулою (1.1), прийнявши електричну потужність навантаження (роутера) 15 Вт:

$$T = \frac{12 \cdot 20}{15} = 16 \text{ год.} \quad (3.1)$$

Цього часу цілком достатньо для того, щоб користуватись послугами INTERNET до наступної появи напруги в мережі. Основні характеристики акумулятора CSB 12В зведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики акумулятора

Характеристика	Параметр
Номінальна напруга	12 В
Термін служби	10 років
Ємність	20 А·год
Струм короткого замикання	350 А
Максимальний розрядний струм	100 А (3 сек)
Максимальний зарядний струм	3 А
Буферний режим	13,6...13,8 В
Внутрішній опір	20 Ом

Особливості цієї акумуляторної батареї, тобто технології AGM полягають у її експлуатації у будь-якому положенні та великим терміном служби та низьким саморозрядом.

3.3 Розрахунок силового кола

Напруга з батареї подається на підвищувальний трансформатор. Вихідна потужність ДБЖ має бути приблизно 100 Вт. Прийmemo вихідний електричний струм ДБЖ на рівні 1 А.

До найважливіших аспектів розрахунку ДБЖ слід віднести визначення параметрів та вибір типу силових транзисторів інвертора. Необхідними параметрами для вибору транзистора є струм транзистора у відкритому стані та напруга, що прикладається до нього у закритому стані. Зазвичай інвертор є генератором періодичної напруги, що за формою наближена до синусоїди або дискретного сигналу [3].

У електричній схемі інвертора на рисунку 3.3 напруга, що прикладається до закритого транзистора, визначається напругою джерела живлення. У нашому випадку це розрядний пристрій (РП), на базі безпосереднього перетворювача напруги підвищуючого типу з живленням від акумуляторної батареї з максимальною напругою $U_{AB} = 14,2$ В. Для підвищення ККД інвертора у схемі застосуємо MOSFET транзистори.

На рисунку 3.3 показано схему силового кола ДБЖ.

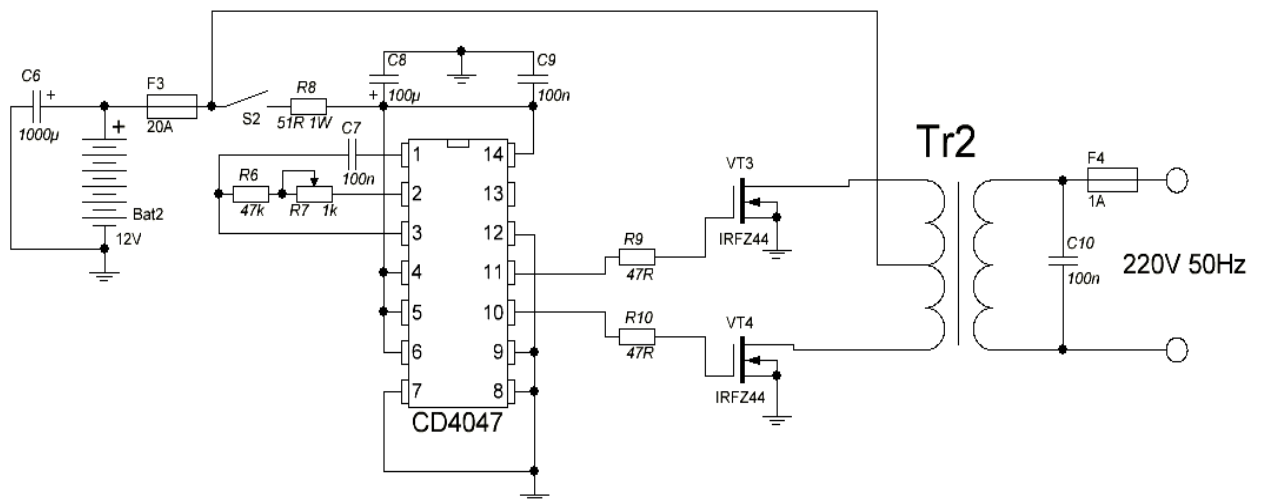


Рисунок 3.3 – Схема силової частини ДБЖ

Розрахуємо напругу на вторинній обмотці трансформатора:

$$U_2 = \frac{P_{вих}}{I_{вих}} = \frac{100}{1} = 100 \text{ В.} \quad (3.2)$$

Прийmemo напругу на виході трансформатора із запасом на рівні 320 В. Приймемо ККД трансформатора на рівні 90%. Тоді потужність первинної обмотки становитиме:

$$P_1 = \frac{P_{вих}}{\eta} = \frac{100}{0,9} = 110 \text{ Вт.} \quad (3.3)$$

На кожену половину первинної обмотки припадає орієнтовно по 166 Вт потужності. Транзистори VT1, VT3 працюють в ключових режимах. Комутуючи, вони формують півхвилі на первинній обмотці, тим самим на вторинній отримується знакозмінний струм, який поступає на інвертор.

Струм, що протікає по колах «стік-витік» транзисторів VT1, VT3 визначається з формули:

$$I_{VT1} = I_{VT3} = \frac{P_{ex}}{2U_{AKB}} = \frac{110}{2 \cdot 12} = 4,6 \text{ A.} \quad (3.4)$$

Вибираємо транзистори IRFZ44E з наступними параметрами:

- максимальна напруга кола стік-витік $U_{CB} = 60 \text{ В}$;
- максимальний струм сток-витік $I_{CB} = 12 \text{ А}$;
- опір каналу $R_{CB} = 23 \text{ мОм}$.

Розрахунок обмоткової частини трансформатора проведемо за допомогою спеціальної програми Transformer Calculator. В результаті було отримано наступні параметри трансформатора TV2:

- напруга первинної обмоток $U_1 = 12 \text{ В}$;
- напруги вторинних півобмоток $U_{21} = 12 \text{ В}$ та $U_{21} = 310 \text{ В}$;
- струм первинних півобмоток $I_{11} = 15 \text{ А}$;
- струми вторинних півобмоток $I_{21} = 0,1 \text{ А}$ та $I_{21} = 1 \text{ А}$;
- кількість витків первинної обмотки $w_1 = 10$;
- діаметр проводу первинної обмотки – 2,1 мм;
- довжина проводу первинної обмотки – 0,22 м;
- кількість витків першої вторинної півобмотки $w_{21} = 5$;
- діаметр проводу першої вторинної півобмотки – 0,15 мм;
- довжина проводу першої вторинної півобмотки – 0,2 м;
- кількість витків другої вторинної півобмотки $w_{22} = 80$;
- діаметр проводу другої вторинної півобмотки – 0,55 мм;
- довжина проводу першої вторинної півобмотки – 5,2 м.

Сердечник трансформатора тороїдальної форми та виконаний з фериту марки M2000HM1-17. Сердечник має такі розміри: зовнішній діаметр – 60 мм; внутрішній діаметр – 40 мм; висота – 10 мм.

Для випрямлення струму використано діодний міст. Так як вихідний струм прийняли рівним 1,0 А, то діодний міст VD10 повинен витримувати цей струм. Тому вибираємо з [2] діодний міст 4GBU04 з такими параметрами: максимальна постійна зворотна напруга – 400 В; максимальний прямий (випрямлений за півперіод) струм – 4 А.

При роботі ДБЖ від акумуляторної батареї в колі, де знаходиться оптопра VU1, протікає струм, у результаті відкривається оптотиристор. Оптопара служить для гальванічної розв'язки силової схеми за наявності напруги у мережі. Виберемо з [2] оптотиристор VU1 – TO125-12,5-4 з наступними параметрами:

- повторювана імпульсна напруга в закритому стані – 400 В;
- максимально допустимий середній струм у відкритому стані – 12,5 А;
- відмикаючий струм керування – 200 мА.

Для захисту силового кола від перевантажень на виході слід встановити запобіжник FU1 типу ВП4-4 на струм 2 А і напругу 350 В.

Для захисту встановлено діод VD6 типу 1N5404 з такими параметрами: максимальна постійна зворотна напруга – 400В; прямий струм – 3А.

Вибираємо електролітичний конденсатор С6 типу К50-35 ємністю 100 мкФ та напругою 350 В.

Розрахуємо індуктивність дроселя L1 через активний опір навантаження R_d:

$$L_1 = \frac{2U_d}{I_d \omega m(m^2 - 1)} \cdot \frac{I_d}{\Delta I} = \frac{2 \cdot 310}{1 \cdot 314 \cdot 2(2^2 - 1)} \cdot 0,2 = 0,07 \text{ Гн}, \quad (3.5)$$

де $m = 2$ – число пульсацій;

$\omega = 314 \text{ с}^{-1}$ – кутова частота струму;

$I_d/\Delta I = 0,2$ – відносне значення пульсацій струму.

Вибираємо дросель типу В82111-Е-С22.

Розрахуємо ємність конденсатора C_7 :

$$C_7 = \frac{1+q}{L_1 \omega^2 m^2} \cdot \frac{U_d}{\Delta U} = \frac{1+0,057}{314^2 \cdot 4 \cdot 0,07 \cdot 0,3} = 125 \text{ мкФ}, \quad (3.6)$$

де q – коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги.

Виберемо конденсатор C_7 типу К10-17Б ємністю 125 мкФ.

Для індикації роботи ДБЖ у режимі від АКБ використовуємо світлодіод VD7 типу КА-3020ЕС з наступними параметрами: колір свічення – червоний; струм $I_{пр} = 20\text{мА}$; максимальна зворотна напруга – 5В.

Для обмеження струму, що протікає через світлодіод VD7 використовуємо резистор R2, номінал якого обчислимо за формулою:

$$R_{12} = \frac{U_{АКБ} - U_{зв. max}}{I_{пр}} = \frac{12 - 5}{20 \cdot 10^{-3}} = 350 \text{ Ом}. \quad (3.7)$$

Резистор R2 можна вибрати типу SQP на 5 Вт та 1 кОм, конденсатор C9 типу К50-35 ємністю 1000 мкФ та напругою 16 В. Діод VD9 типу 1N4148 з наступними параметрами: максимальний прямий (випрямлений за півперіод) струм – 150мА; максимальна постійна зворотна напруга – 200В, резистор R1 вибирається номіналом 50...100 Ом.

Для забезпечення нормального теплового режиму роботи ключів необхідно визначити потужність втрат у електронних ключах (транзисторах та зворотних діодах). Сумарні втрати у транзисторах при синусоїдній модуляції вихідної напруги складаються зі статичних і динамічних в колекторному колі транзистора та втрат у колі його керування. Статичні втрати складаються з потужності втрат при відкритому та закритому станах [9]. Зважаючи на малі струми навантаження втрати будуть низькими. Вони попередньо розраховані в Mathcad і складають одиниці Ват. Тому ними знехтуємо.

РОЗДІЛ 4

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Моделювання процесів у ДБЖ

Для того щоб оцінити та перевірити працездатність розрахованого ДБЖ була складена схема віртуального ДБЖ відповідно до схеми та параметрів у розрахунковій частині та змодельована у програмному середовищі Matlab [11]. Схема моделі представлена на рисунку 4.1 і включає вимірювальні блоки і субблоки.

У схемі є зворотний зв'язок за напругою, яка реалізована за допомогою DC конвертера та PI конвертера. Вона необхідна для стабілізації вихідної напруги при можливому розряді акумуляторної батареї або іншої причини просідання напруги.

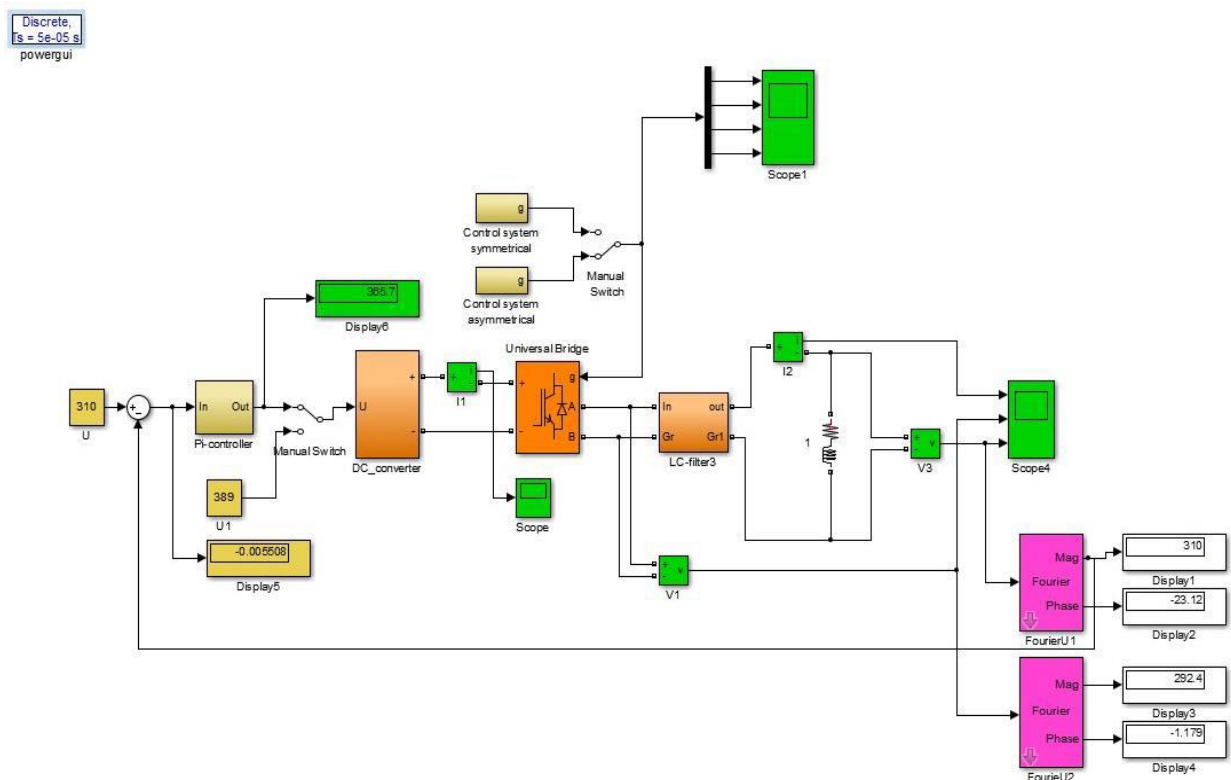


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель ДБЖ

Були зняті осцилограми змодельованої схеми ДБЖ із симетричним керуванням та несиметричним керуванням. Симетричне керування –

реалізовано за допомогою широтно-імпульсного перетворювача ШПІ. Спрощена функціональна схема ШПІ представлена на рисунку 4.2.

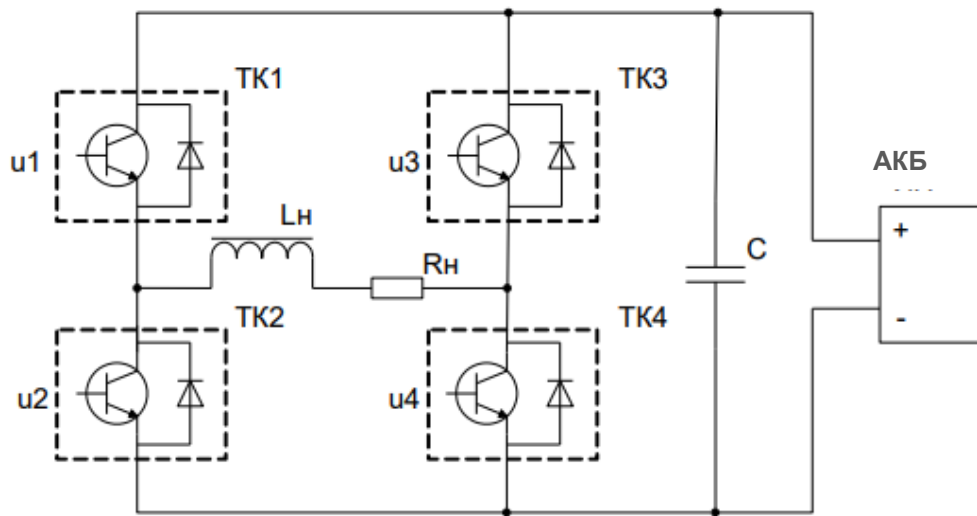


Рисунок 4.2 – Функціональна схема широтно-імпульсного перетворювача: ТК1...ТК4 – силові ключі; $u_1...u_4$ – керуючі напруги на ключах; L_n , R_n – активно-індуктивне навантаження; C – конденсатор; АКБ – акумулятор

Схема моделі ШПІ із симетричним керуванням показана на рисунку 4.3.

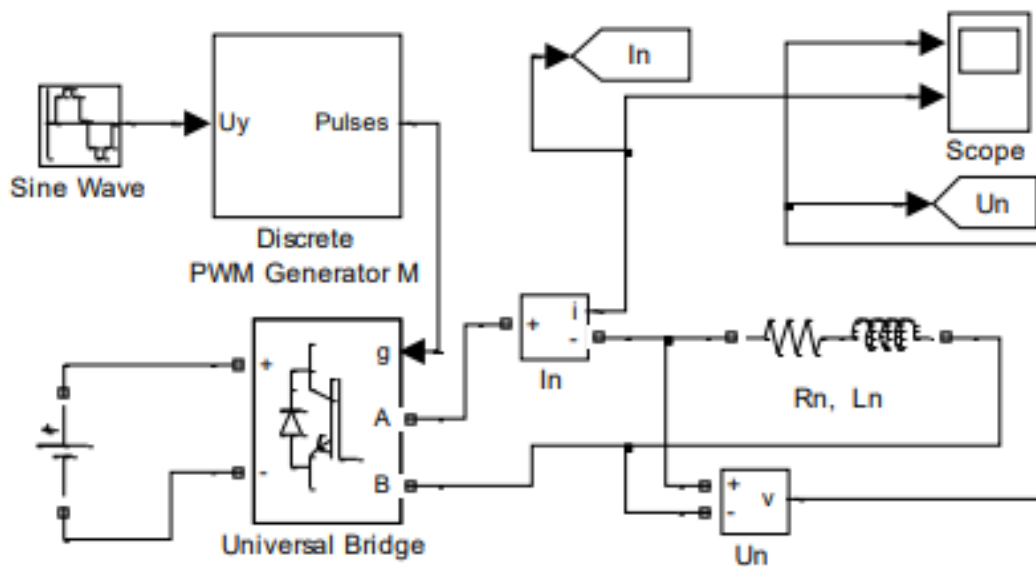


Рисунок 4.3 – Імітаційна модель ШПІ

Отримані осцилограми представлені на рисунку 4.4.

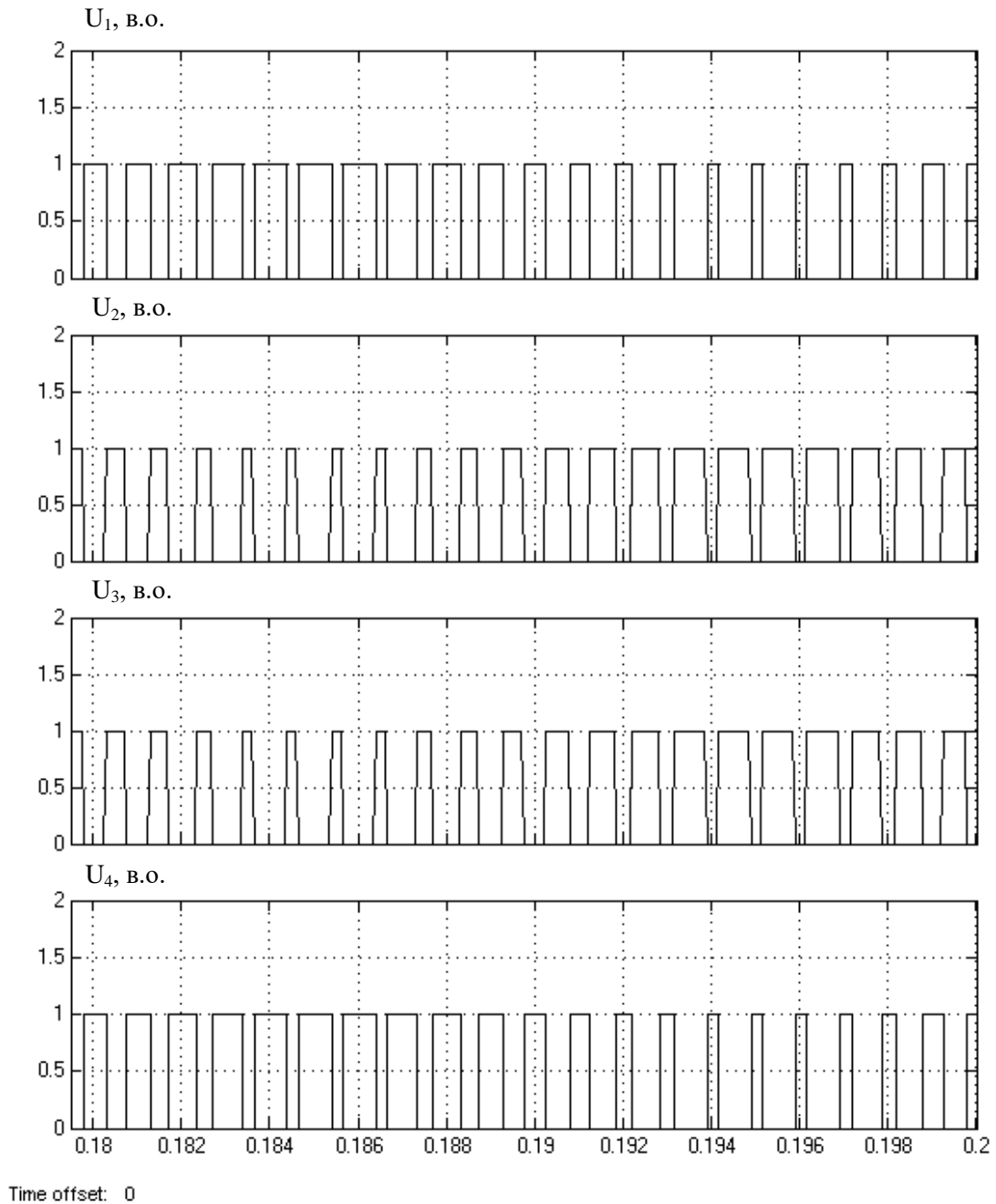


Рисунок 4.4 – Осцилограми сигналів на ключах інвертора

Отримані осцилограми представлені на рисунку 4.5. На рисунку 4.6 показано осцилограми задаючого і опорного сигналу (а) та формування імпульсів для ключів інвертора (б).

Найбільш простим способом керування ШП є симетричний. При симетричному способі керування в стані перемикання знаходяться всі чотири

транзисторних ключі моста, а напруга на виході ШП є знакозмінними імпульсами, тривалість яких регулюється сигналами керування $u_1...u_4$.

У ШП з симетричним керуванням середня напруга U на виході дорівнює нулю, а відносна тривалість ввімкнення складає 0,5.

Перевага симетричного методу керування є простота реалізації. Недоліком є наявність двополярної напруги на навантаженні та підвищені пульсації струму в навантаженні.

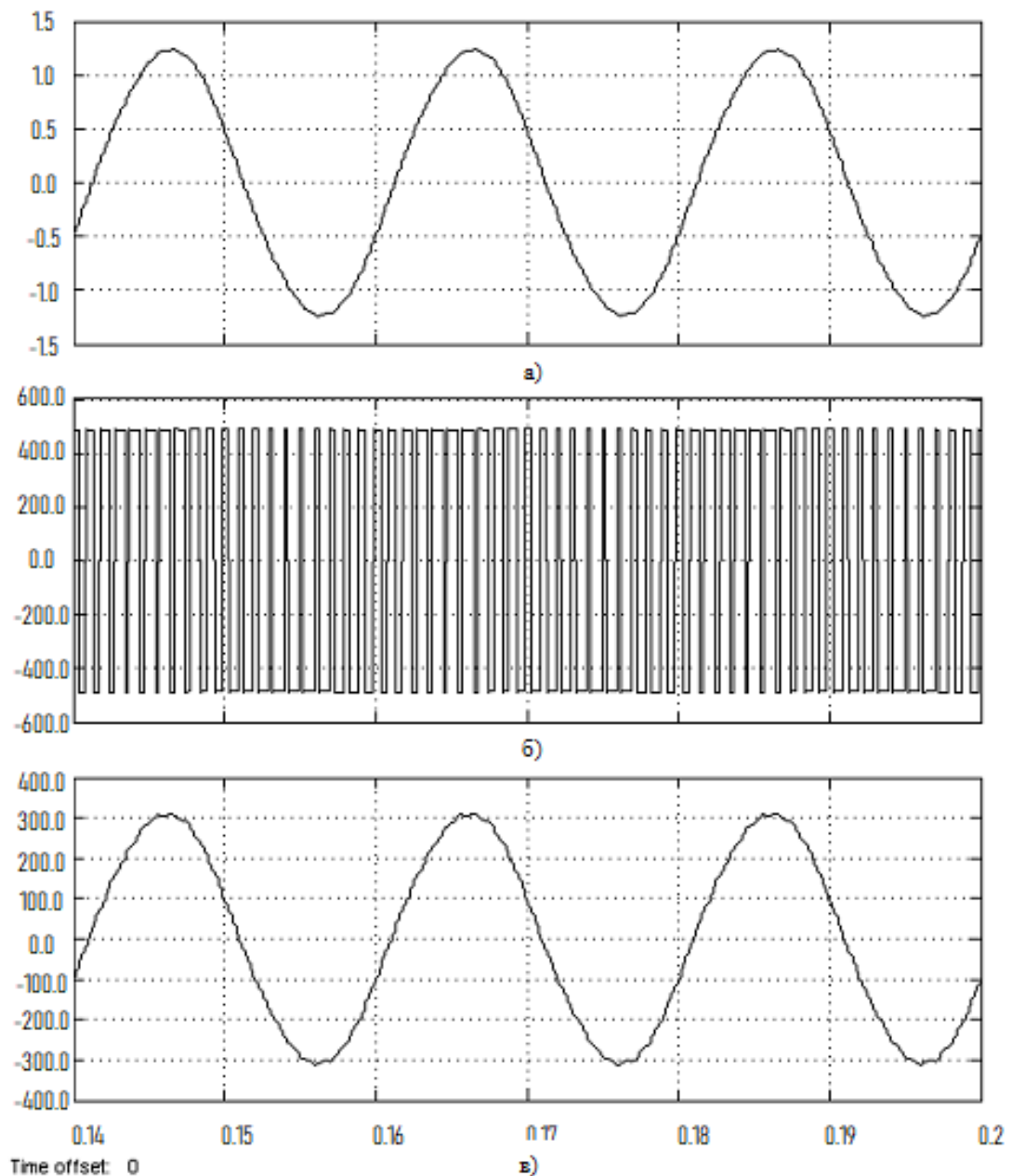


Рисунок 4.5 – Осцилограми напруг та струму: а) струм навантаження; б) напруга живлення; в) напруга навантаження однофазного інвертора

Несиметричне керування зrealізовано з допомогою широтно-імпульсного перетворювача ШПІ. Схема моделі ШПІ з несиметричним керуванням представлена на рисунку 4.7. У цій схемі реалізовано блок Discrete PWM Generator. При несиметричному керуванні за будь-якого знаку вхідного сигналу U_k у стані перемикання знаходяться всі чотири транзисторні ключі моста. При цьому частота перемикання кожного з них відповідає частоті опорного трикутного сигналу, а напруга на навантаженні однополярна з частотою вдвічі більшою, ніж опорна.

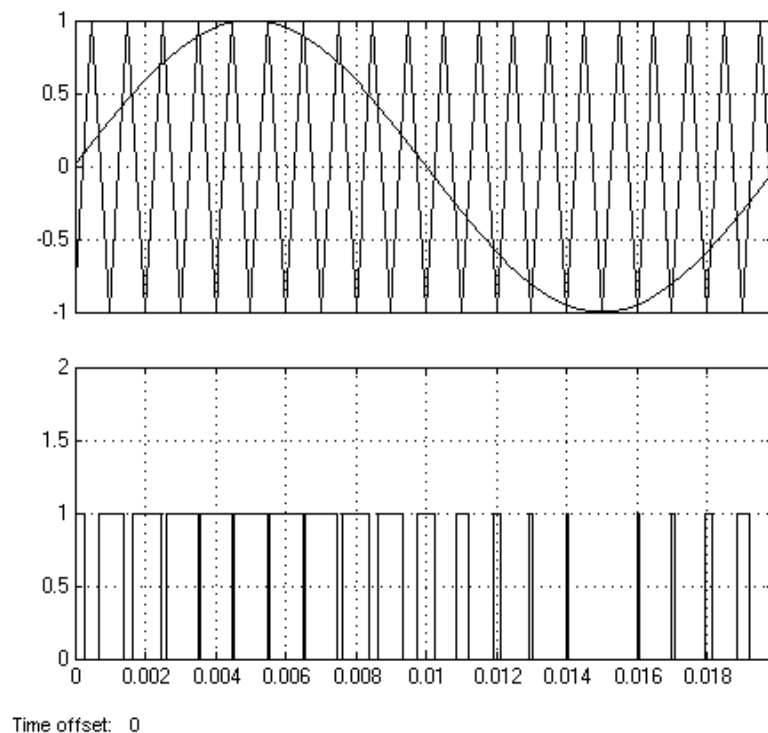


Рисунок 4.6 – Формування імпульсів у симетричній системі

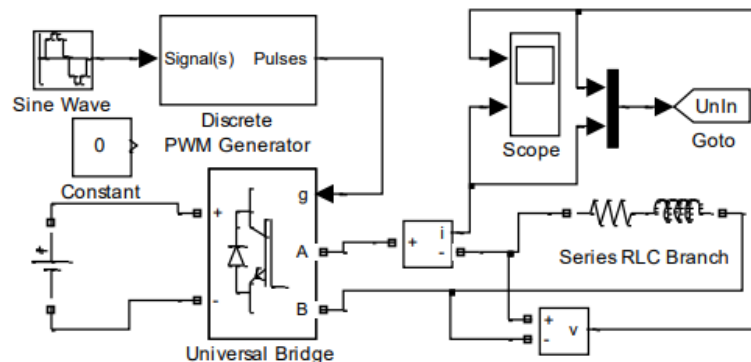


Рисунок 4.7 – Схема моделі ШПІ із несиметричним керуванням

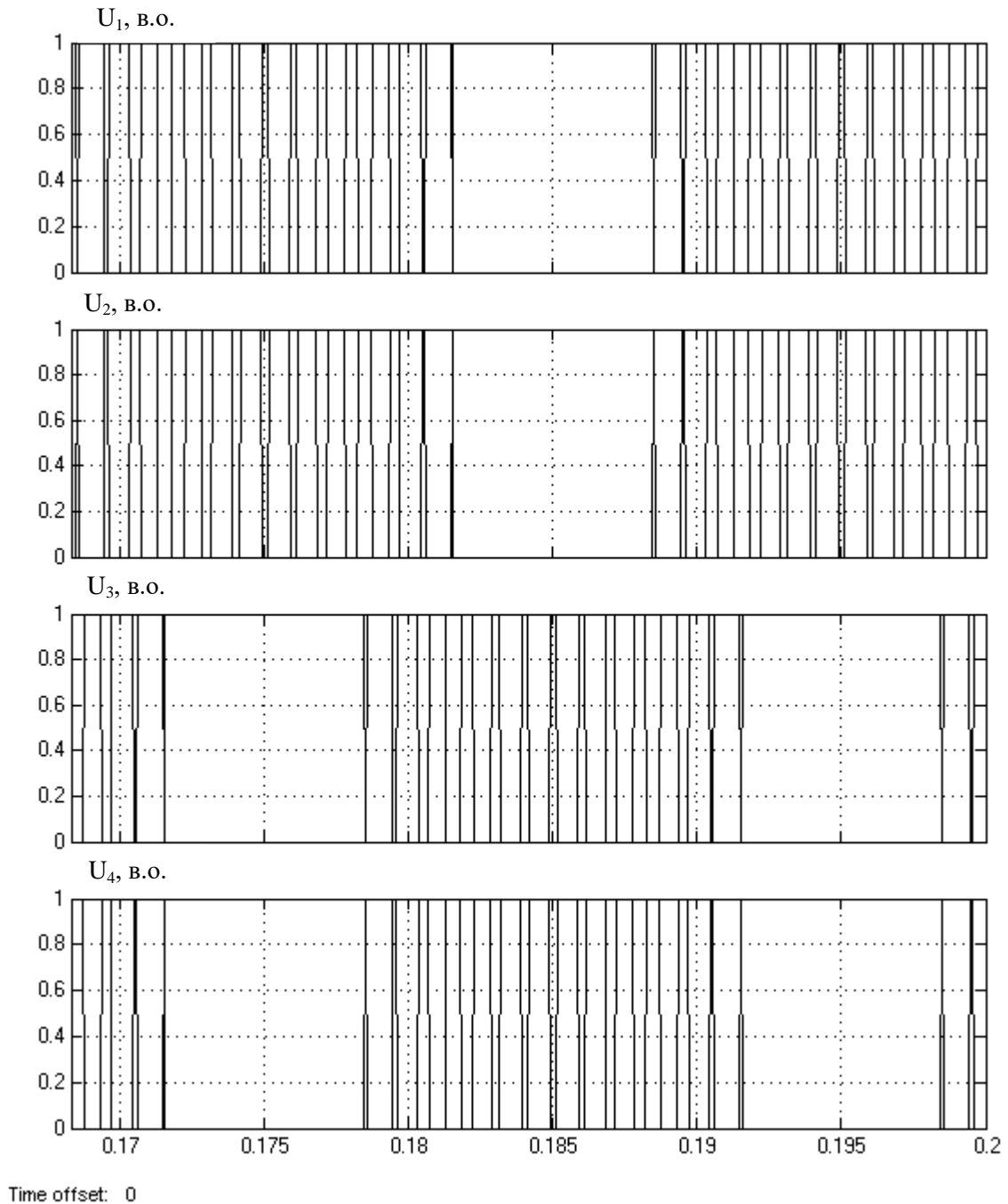


Рисунок 4.8 – Осцилограми сигналів на ключах інвертора при несиметричному керуванні [11]

На рисунку 4.9 показано осцилограми струму на навантаженні, напруги на виході інвертора та напруги на навантаженні.

Керуючі напруги транзисторних ключів та однієї фази моста постійно знаходяться в протифазі, при цьому ключі перемикаються з меншою вдвічі частотою, ніж частота комутації навантаження. Цим досягається зниження

втрат на перемикання силових ключів та зменшення пульсацій струму у навантаженні.

На рисунку 4.9 показано осцилограми напруг на транзисторних ключах інвертора при несиметричному керуванні у відносних одиницях.

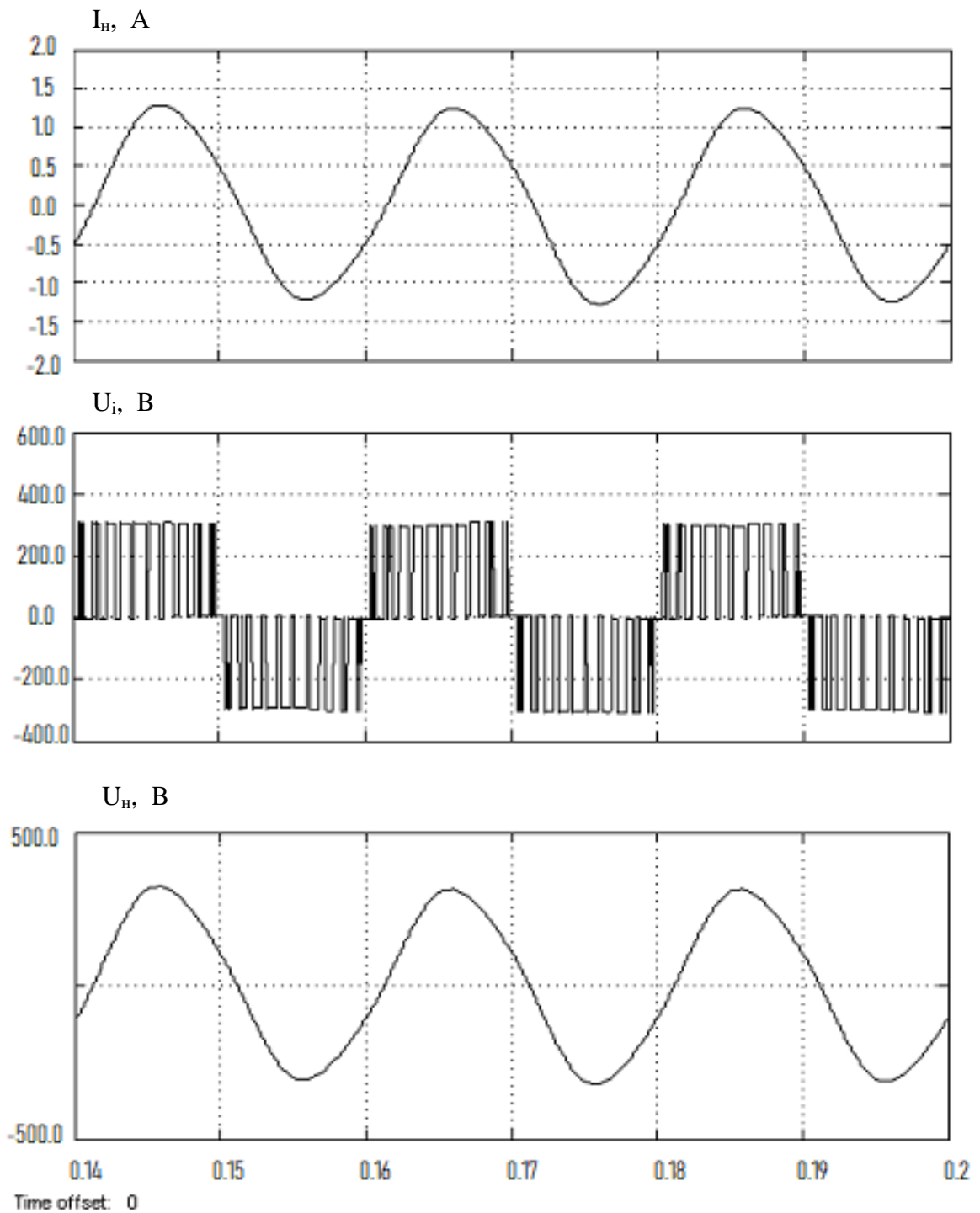


Рисунок 4.9 – Осцилограми струму на навантаженні, напруги на виході інвертора та напруги на навантаженні

Проаналізувавши результати моделювання підсумуємо, що розраховані параметри задовольняють умовам роботи системи при аварії.

4.2 Елементна база джерела безперебійного живлення

Для побудови ДБЖ використано адаптер 12В / 2А, гелеву АКБ, найпростіший малопотужний інвертор, модуль перемикачів аварійного джерела живлення YX851 та власне роутер. Таке обладнання скомпонуємо у зручному для підключення боксі – блоці живлення для ПК.

На рисунках 4.10, 4.11 показані зовнішній вигляд адаптера та АКБ. Гелевий акумулятор CSB – це сучасне і повністю герметичне джерело живлення, яке не потребує обслуговування. Завдяки особливій технології виготовлення він стабільно працює навіть там, де звичайні свинцево-кислотні батареї швидко втрачають ефективність.

АКБ CSB 12В 7,2 А·год (GP1272_28W) має ємність 7,2 А·год і номінальну напругу 12 В. Зарядна напруга в буферному режимі складає 13,5...13,8 В, а порогова напруга зарядного пристрою в циклічному режимі – 14,4...14,7 В. Акумулятор розрахований на 1200 циклів, струм короткого замикання досягає 200 А. Корпус виконаний з пластику, клеми – тип Т3. Габарити батареї становлять 151 x 65 x 94 мм, а вага – 2,1 кг.

Батарея для ДБЖ CSB 12В 7,2 А·год (GP1272_28W) поєднує в собі високу якість та надійність, роблячи її ідеальним вибором для джерела безперебійного живлення. Завдяки напрузі 12 В та ємності 7.2 А·год ця батарея забезпечує стабільне живлення роутера у випадку відключення електроенергії. Це дозволяє уникнути непередбачуваних збоїв у роботі телекомунікаційного обладнання. Унікальна конструкція батареї забезпечує низький рівень саморозряду, що робить її більш ефективною навіть після тривалого простою. Батарея добре підходить для використання в ДБЖ, центральних та охоронних сигналізаціях. Батарея автоматично заряджається під час підключення до мережі, забезпечуючи готовність до роботи.



Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд адаптера



Рисунок 4.11 – зовнішній вигляд АКБ

Для монтажу можна вибрати підвищувальний DC-AC інвертор потужністю 35 Вт. Інвертор працює на підвищеній частоті і його застосування з трансформаторними або конденсаторними блоками живлення заборонене. Вихідну напругу можна вимірювати тільки високочастотним мультиметром. Фактично напруга на виході складає від 210 В до 240 В.

Вхідна напруга складає 8...13 В DC, вихідна напруга: 210...240 В AC. На рисунку 4.12 показано зовнішній вигляд плати інвертора.

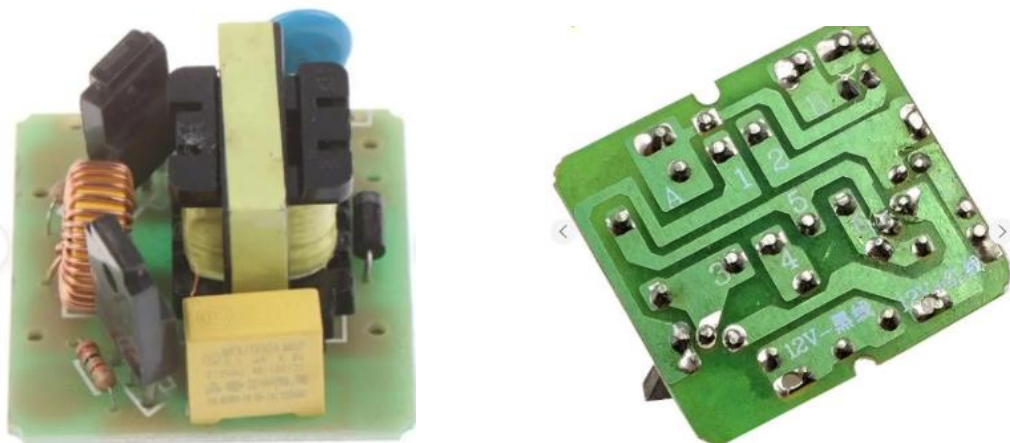


Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд плати інвертора

Електрична схема інвертора для рисунка 4.12 показана на рисунку 4.13. Транзистори VT3, VT4 та VT5, VT6 відповідно об'єднані у два транзистори, оскільки з'єднані паралельно.

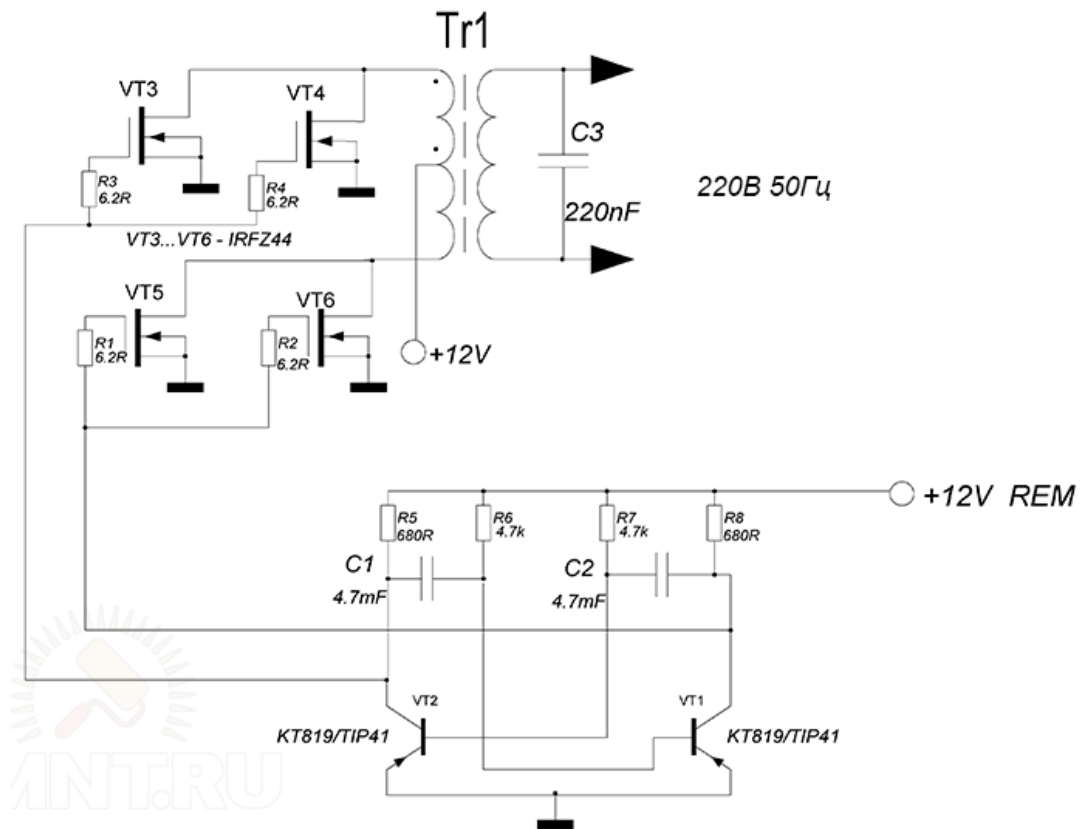


Рисунок 4.13 – Електрична принципова схема інвертора

Перша частина схеми інвертора – вхідний мультивібратор, що імітує коливання мережі для здійснення трансформації. Збирається він зазвичай на двох біполярних транзисторах, здатних «розкочати» силові ключі (наприклад IRFZ44), для яких найважливіший параметр – гранично допустимий струм. Він може досягати декількох сотень ампер, але в цілому досить помножити значення струму на вольтаж акумуляторної батареї, щоб отримати орієнтовну кількість ват вихідної потужності без урахування втрат.

Модуль перемикавання аварійного джерела живлення YX851 призначений для безперебійного керування живленням між основним джерелом живлення й резервною батареєю, забезпечуючи безперебійне живлення під'єданого

навантаження. Він обладнаний інтелектуальним керуванням перемиканням і зарядкою, що робить його надійним вибором для різних гаджетів, що вимагають постійного керування живленням. Напруга керування становить 12 В DC, а струм керування – 10 А DC.

Цей модуль ідеально підходить для використання в системах, де безперебійне живлення є критично важливим, наприклад, у системах резервного живлення, сонячних батареях або інших застосунках, що потребують плавного перемикання між джерелами живлення.

Особливості:

- перевага основного живлення: коли доступне основне джерело живлення, модуль віддає пріоритет його використанню для живлення навантаження, зберігаючи заряд батареї;

- автоматичне перемикання на батарею: якщо основне джерело живлення виходить із ладу, модуль автоматично перемикається на батарею для підтримання живлення навантаження;

- модуль контролює напругу батареї, ініціюючи її заряджання при зниженій напрузі та припиняючи зарядку при зарядженій АКБ;

- можливість повного заряджання батареї залежить від напруги, сили струму та ємності батареї;

- висока надійність, що пояснюється використанням передових технологій виробництва та високоякісних матеріалів.

На рисунках 4.14, 4.15 показано зовнішній вигляд плати та схему під'єднання.

Напругу початку заряджання та напругу вимкнення можна регулювати за допомогою змінних резисторів керування модуля, причому під час регулювання за годинниковою стрілкою напруга збільшується, а під час регулювання проти годинникової стрілки – зменшується.

Пояснимо налаштування цього модуля. Нехай напруга акумулятора складає 10,8 В, тобто при роботі в автономному режимі при такій напрузі буде проходити заряд АКБ.



Рисунок 4.14 – Зовнішній вигляд плати YX851

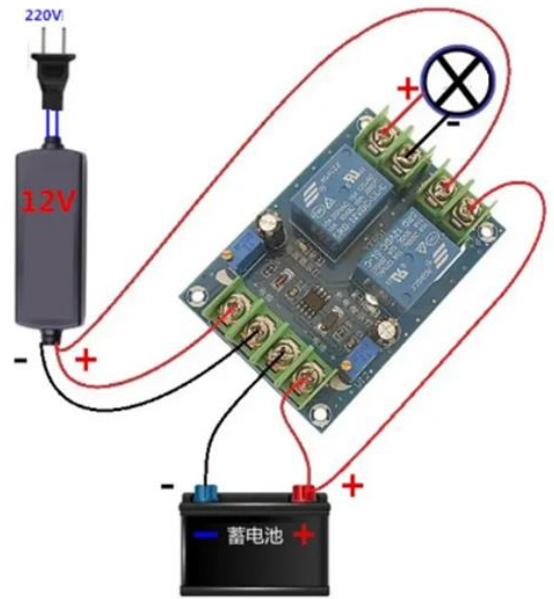


Рисунок 4.15 – Схема під'єднання

Для цього з регульованого джерела живлення на клеммах модуля (battery) виставляємо напругу 10,8 В. Замірюємо на мікросхемі NE 555 напругу між першим і п'ятим піном. Вона складає 5,1 В. Напруга між першим і другим піном має дорівнювати половині від 5,1 В, тобто 2,55 В. У нашому випадку ця напруга складає 6,1 В. Підрегулюємо її змінним потенціометром проти годинникової стрілки до значення 2,55 В. Тобто, налаштування нижньої межі виконано. Нехай верхня межа заряду АКБ складає 14,2 В. При такій напрузі припиняється заряд АКБ. Перемикання режимів «заряд-розряд» виконано на твердотільних реле.

Подаємо напругу 14,2 В від регульованого джерела живлення на клеми модуля (battery). Напруга між першим і другим піном складає 5,1 В, тоді відповідно й напруга між першим і шостим пінами має бути ж такою. У нашому випадку напруга дорівнює 6 В. Підрегулюємо її до значення 5,1 В другим потенціометром аналогічно як у першому випадку. Тобто два реле контролюють рівень заряду-розряду АКБ, тим самим замикаючи чи розмикаючи контакти «power». На рисунку 4.16 показано загальний вигляд твердотільного електромеханічного реле та його розпіновку.

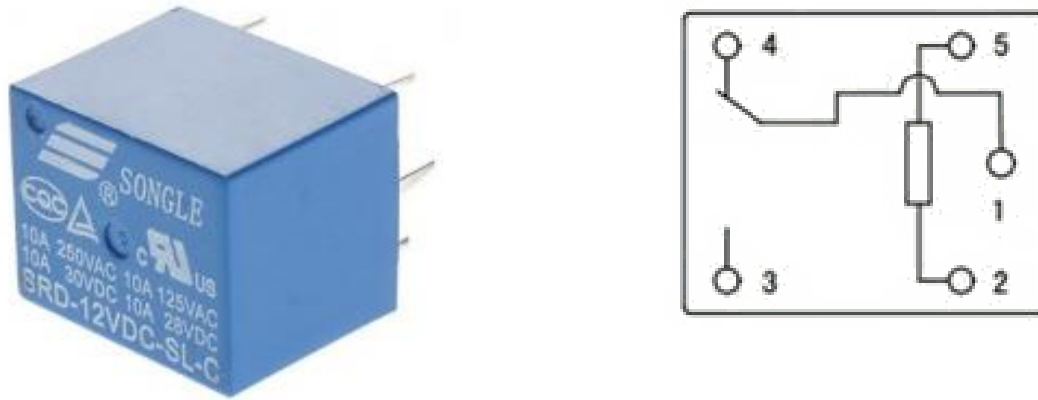


Рисунок 4.16 – Твердотільне електромеханічного реле типу SRD-12VDC-SL-C та схема підключення

Характеристики реле занесемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики реле типу SRD-12VDC-SL-C [4]

Параметр	Номінал
Номінальна робоча напруга котушки	12 В
Номінальний робочий струм котушки	30 мА
Опір котушки	400 Ом
Споживана потужність	0,36 Вт
Максимальний комутований струм	10 А
Максимальна комутована постійна напруга	28 В
Максимальна комутована змінна напруга	250 В

Твердотільні реле добре зарекомендували себе в якості електромеханічних комутуючих апаратів. Вони мають задовільну швидкодію і можуть працювати в колах як змінного так і постійного струму з комутуючими струмами десятки ампер.

4.3 Випробовування дослідного зразка

Для реалізації безперебійного блоку використано корпус від системного блоку. Монтаж проектного модуля згідно рисунку 4.15 в корпус показано на рисунку 4.17. Ззовні виведені клеми для під'єднання акумулятора. Адаптер живлення вибрано на 12 Вольт потужністю 50 Вт.

При скомутованій схемі та подачі напруги на модуль було проведено налаштування нижньої та верхньої межі розряду та заряду акумулятора згідно пункту 4.2. Тобто, при тривалій автономній роботі, коли акумулятор розрядився до значення 10,8 В і відсутності напруги мережі виникає аварійна ситуація, що полягає у неработоздатності роутера і відсутності інтернету.

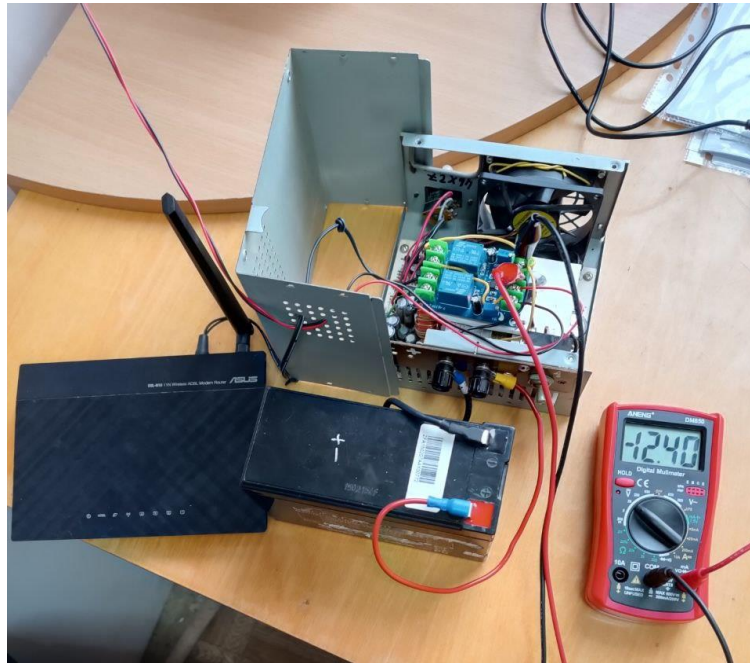


Рисунок 4.17 – Змонтоване автономне джерело живлення для роутера

Час автономної роботи роутера від акумулятора пояснимо нижче. Якщо потужність роутера становить 13 Вт, то споживаний струм складатиме приблизно 1 А. Тобто ємності акумулятора мало б вистачити орієнтовно на 7 годин роботи.

Під час випробувань при зарядженому раніше акумуляторі до 13,4 В проведено імітацію вимкнення напруги. При цьому реле плати YX85 взаємоперемикаються між собою. Зарядний струм згідно показів тестера склав 0,8 А. Налаштувавши роутер було зафіксовано час безперебійної роботи 6 год 18 хв. Зрозуміло, що для тривалішої автономної роботи роутера потрібен акумулятор більшої ємності та адаптер більшої потужності для швидшого заряду АКБ. На рисунку 4.18 показано загальний вигляд спроектованої установки.

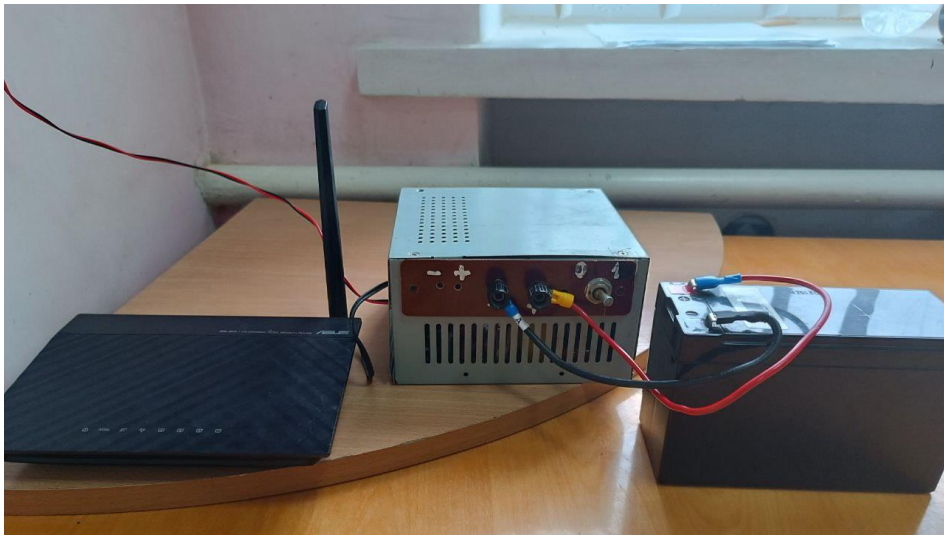


Рисунок 4.18 – Загальний вигляд спроектованої установки

На основі вище викладеного можемо констатувати, що безперебійне джерело живлення успішно виконує свої функції по забезпеченню електроживленням телекомунікаційного обладнання, а тому може бути успішно застосоване як в домашніх так і офісних умовах.

ВИСНОВКИ

1. Проведено огляд літературних джерел щодо функціонування джерел безперебійного живлення для малопотужного обладнання в телекомунікаційних мережах і в результаті аналізу визначено переваги застосування окремих модулів як основи ДБЖ. Проєктування нових альтернативних джерел живлення, побудованих на ключових технологіях з використанням напівпровідникових елементів є затребуваним та актуальним в області електроніки та телекомунікацій.

2. Досліджено електричні процеси, що відбуваються в ДБЖ, побудованих за різними технологіями, проаналізовано структурні та принципіві схеми ДБЖ з інтеграцією сучасних швидкодіючих модулів, що мають високі експлуатаційні характеристики для обладнання телекомунікаційних мереж.

3. Проведено опис принципівіх схем та визначено їх елементну базу для успішного функціонування ДБЖ. Обґрунтовано та описано основні функції модулів ДБЖ, а саме модуля перемикавання аварійного джерела живлення УХ851.

4. Запроєктовано та виготовлено альтернативне ДБЖ, що призначене для живлення WI-FI роутера та іншого подібного обладнання співмірної потужності. Проведено його випробування та діагностику робочих характеристик ДБЖ в реальних умовах. Випробування повністю підтвердили працездатність та успішне функціонування блоку безперебійного живлення для Wi-Fi роутера.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boylestad R., Nashelsky L.. Electronic devices and circuit theory. Prentice Hall. New Jersey. 2023. 934 p.
2. Electronics. URL: <https://electronics.com> (дата звернення 01.10.2025 р.).
3. Electronics tutorials. URL: [https://www.Electronics-tutorials.ws/power/switch mode – power-supply.html](https://www.Electronics-tutorials.ws/power/switch-mode-power-supply.html) (дата звернення 06.10.2025 р.).
4. Magfiroch L., Development of Single-Phase AC Voltage Regulator for Renewable Energy Empowerment: Rural Generator Case Study Automation Engineering, Shipbuilding Institute of Polytechnic Surabaya. Conference of Electrical, Marine and Its Application, Indonesia. Vol. 15, No 3. 2022. p.55-66.
5. Power Electronics AC Voltage Controllers. URL: <https://www.rmkcet.ac.in>. (дата звернення 27.10.2025 р.).
6. PowerElectronics. URL: [https://www.rmkcet.ac.in/eee/Notes / Power Electronics](https://www.rmkcet.ac.in/eee/Notes/PowerElectronics). (дата звернення 15.09.2025 р.).
7. Sosnina E., Sevostyanov A., Kryukov E. Thyristor Voltage Regulator Experimental Research. E3S Web of Conferences. 2020. P.55-63.
8. Sxemki. URL: <https://.com/ua/p2314021225-modul-pereklyucheniya-avarijnogo.html?srsltid=AfmBOorsf4o5kzEXhAQELzaADJ8aUaR9VJ2gVUGaxaXLKwTu3BOxHuED>. (дата звернення 25.10.2025 р.).
9. Voltage-regulators. URL: <https://ecstudiosystems.com/discover/textbooks/basic-electronics/power-sources/voltage-regulators>. (дата звернення 01.11.2025 р.).
10. Котовський В. Й., Семікіна Т. В., Слободян Н. В., Немировський А.В., Клименко В. А. Основи електроніки: Лабораторний практикум. Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021. 84 с.
11. Лишук В. В., Антонюк В. В., Крутій П. С. Найпростіша математична модель однофазного випростувача. Тези XIII-Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління». Луцьк. 2025. С. 86-89.

12. Мосьпан Д. В., Фомовська О. В., Юрко О. О. Лабораторний практикум з електронних пристроїв: навчальний посібник. Кременчук. 2020. 106 с.

13. Островерхов М. Я., Сенько В. І., Чибеліс В. І. Імпульсні перетворювачі стабілізованої напруги. Монографія. Київ: Ліра-К. 2020. 242 с.

14. Островерхов М. Я., Сенько В. І., Чибеліс В. І. Промислова електроніка. Навч. посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021, 341 с.

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students

об'єктно-орієнтовані технології

ЕОМ

КОНТРОЛЕР

ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ

МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

ACTUAL PROBLEMS OF AUTOMATION AND CONTROL

conference materials

АСУ

ІНФОРМАЦІЙНА БАЗА

АСУ ТП

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ЕОМ

Інформаційні системи

Issue № 13

Lutsk - 2025

ОРГАНІЗАТОРИ

ORGANIZERS

Луцький національний технічний
університет, Луцьк (Україна)

Lutsk National Technical University,
Lutsk (Ukraine)

Вінницький національний технічний
університет, Вінниця (Україна)

Vinnitsia National Technical University,
Vinnitsia (Ukraine)

Національний університет «Львівська
Політехніка» (Україна)

Lviv Polytechnic National University
(Ukraine)

Тернопільський національний
технічний університет імені Івана
Пулюя, Тернопіль (Україна)

Ivan Puluj Ternopil National Technical
University, Ternopil (Ukraine)

Люблінська Політехніка, Люблін
(Польща)

Lublin University of Technology, Lublin
(Poland)

Політехнічний інститут Браганса,
Браганса (Португалія)

Bragança Polytechnic Institute (Portugal)

Університет Глїндвор, Рексем
(Великобританія)

Glyndwyr University, Wrexham (United
Kingdom)

AGH Університет науки і
техніки імені Станіслава Сташица,
Краків (Польща)

AGH University of Science and
Technology, Krakow (Poland)

Каунаський університет технологій
(Литва)

Kaunas University of Technology
(Lithuania)

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

ГОЛОВА ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ

I. ВАХОВИЧ – д.е.н., професор, ректор Луцького національного технічного університету (Україна)

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

О. ПОВСТЯНОЙ – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

О. БІСІКАЛО – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій Вінницького національного технічного університету (Україна)

О. ГОЛОТЕНКО – к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Україна)

Б. ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ – д.т.н., професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету (Україна)

Ю. ВАШКУРАК – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету "Львівська Політехніка" (Україна)

PAWEL KOMADA – доктор інженерії, заступник директора інституту електроніки та інформаційних технологій Люблінської Політехніки (Польща)

LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO – координатор професор кафедри механічних технологій Політехнічного інституту Браганса (Португалія)

PAULO LEITAO – координатор професор Політехнічного інституту Браганса; Координатор Центру дослідження цифрових технологій та інтелектуальної робототехніки (CeDRI) Політехнічного інституту Браганса (Португалія)

АЛІСОН МАКМІЛЛАН – професор, стратег і лідер у галузі досліджень і технологій, що спеціалізується на обчислювальних та математичних методах для інженерії (Великобританія)

МІХАЛ БЕМБЕНЕК – професор кафедри виробничих систем факультету машинобудування та робототехніки (Польща)

Joris VĚŽYS – професор кафедри машинобудування, Каунаський університет технологій (Литва)

CHAIRMAN OF THE PROGRAM COMMITTEE

I. VAKHOVYCH – Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector of Lutsk National Technical University (Ukraine)

DEPUTY CHAIRMAN

O. POVSTIANOI – D.Sn, Professor, Head of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

PROGRAM COMMITTEE

O. BISIKALO – D.Sn, Professor, Head of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies at Vinnytsia National Technical University (Ukraine)

O. HOLOTENKO – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Computer-Integrated Technologies, Ivan Puluj National Technical University of Ternopil (Ukraine)

B. PALCHEVSKYI – D.Sn, Professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies of Lutsk National Technical University (Ukraine)

Y. VASHKURAK – PhD, Associate Professor, Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lviv Polytechnic National University (Ukraine)

PAWEL KOMADA – Doctor of Engineering, Deputy Director of the Institute of Electronics and Information Technology of Lublin University of Technology (Poland)

LUÍS FRÖLÉN RIBEIRO – Coordinator Professor of Mechanical Technology Department of Bragança Polytechnic Institute (Portugal)

PAULO LEITAO – Coordinator Professor at Polytechnic Institute of Bragança; Coordinator of the Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI) of Bragança Polytechnic Institute (Portugal)

ALISON MACMILLAN – Professor, strategist, and leader in research and technology specializing in computational and mathematical methods for engineering (United Kingdom)

MICHAL BEMBENEK – Professor, Department of Production Systems, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics (Poland)

JORIS VĚŽYS – Professor, Department of Mechanical Engineering, Kaunas University of Technology (Lithuania)

**ГОЛОВА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО
КОМІТЕТУ**

Л. ГУМЕНЮК – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

ЗАСТУПНИК ГОЛОВИ

Р. ГРУДЕЦЬКИЙ – проректор з науково-педагогічної роботи та цифрової трансформації Луцького національного технічного університету

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

І. КОНДІУС – к.е.н., доцент, декан факультету комп'ютерних та інформаційних технологій Луцького національного технічного університету

П. ГУМЕНЮК – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

О. РЕШЕТИЛО – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

Ю. ЛАПЧЕНКО – к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

Л. МАРКІНА – ст. викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету

**CHAIRMAN OF THE ORGANIZING
COMMITTEE**

L. GUMENIUK - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

DEPUTY CHAIRMAN

R. GRUDETSKYI – Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work and Digital Transformation of Lutsk National Technical University

ORGANIZING COMMITTEE

I. KONDIUS - Ph.D., Associate Professor, Dean of the Faculty of Computer and Information Technology of Lutsk National Technical University

P. HUMENIUK - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

O. RESHETYLO - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

Y. LAPCHENKO - Ph.D., Associate Professor of the Department of Automation and Computer - Integrated Technologies of Lutsk National Technical University

L. MARKINA – Senior Lecturer, Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Lutsk National Technical University

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА»

Алексюк О. М. Моделювання процесів створення пористих порошкових матеріалів на основі відходів промислового виробництва з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій	8
Ваць Д. М. Моделювання ущільнення порошкових фільтруючих елементів при радіально-ізостатичному пресуванні	12
Маркіна Л. М., Вісин А. О. Концепція автоматизованої системи керування роботизованим комплексом гнуття листового металу	17
Прус Д. В. Модельні дослідження формування засипки порошоків з урахуванням властивості матеріалу на базі моделей випадкової упаковки	20
Ткачук В. М., Приходько О. С., Фурс Т. В. Компенсація інструментальних спотворень при відборі кварцових резонаторів із використанням методів статистичного та інтелектуального аналізу даних	24
Хвищун М.В., Ключук М.С., Хвищун Д.М., Панасюк І.В., Драницький Б.О. Створення мобільного застосунку для віддаленого керування розумним будинком	27
Цьома О. В., Федік Л. Ю., Смолянкін О. О. Автоматизація технологічного процесу виробництва сульфоаммофосу	32
Шабанов Г. В., Андрєєв Ю. М. Практична реалізація програмного комплексу для розрахунку і моделювання роботехнічного комплексу	38

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ОСВІТИ, НАУКИ ТА ВИРОБНИЦТВА»

Голіков Т. Ю. Автоматизована система керування технологічним процесом пошиву сорочок	42
Домашенко А. О. Автоматизована система управління вступною кампанією закладу фахової передвищої освіти	46
Закревський В. Л., Приходько О. С. Розробка адаптивного алгоритму керування БПЛА на основі навчання з підкріпленням	50
Нежурін В. І., Куваєв В. Ю., Самойленко Ю. О. Дослідження розподілення енергії в робочому просторі ванни електропечі РПЗ-48(63) при виплавці марганцевих феросплавів шлаковим процесом	53
Решетило О. М., Лисенко В. Ю. Аналіз технологічного процесу виробництва гранульованого комбікорму як об'єкта керування	57
Решетило О. М., Соботович М. І. Аналіз технологічного процесу виробництва сушених овочів як об'єкта керування	64
Савчук М. В., Сацик В. О. Автоматизована система керування технологічним процесом виготовлення круасанів	69
Стьопкін В. В., Коба В. В., Ваколюк А. О. Розробка мікроконтролерної системи керування асинхронним двигуном з фазним ротором на базі електромеханічної станції з контролером НТ-51	73
Тимченко С. В. Розробка Web-орієнтованої системи управління розкладом навчальних занять на базі Next.js та Prisma ORM	78

СЕКЦІЯ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ»

Крупський О. В., Приходько О. С., Вавринюк К. В. Розробка інструменту для генерації анотованих датасетів для навчання AI-агентів	83
Лишук В., Крутій П., Антонюк В. Найпростіша математична модель однофазного випростувача	86
Міщенко Д. О. Оцінка соціально-економічних переваг впровадження систем управління на базі DC-мікромереж у сільських населених пунктах з альтернативними джерелами енергії	89
Нечипорук Р. О. Система інтелектуальної діагностики стану електроенергетичного обладнання на основі багатосенсорних даних та гібридних моделей штучного інтелекту	92
Стьопкін В. В., Білий В. В., Морозов М. В. Розробка математичної моделі електропривода постійного струму зі спостерігачем стану та пружними ланками	94
Юрченко Ю. В., Заковоротний О. Ю. Підготовка та аналіз джерел фінансових даних, як початковий етап стохастичного моделювання часових рядів методами машинного навчання	99

СЕКЦІЯ «МЕХАТРОНІКА ТА РОБОТИЗОВАНІ СИСТЕМИ»

Гончар А. В., Охримович М. Б. Вплив технологічних факторів на кінематичну точність циліндричних зубчатих коліс	104
Павлович А. О. Удосконалення комбінованих захоплюючих пристроїв та особливості їх проектування	108
Слабкий А. В., Котик С. І. Аналіз конструкцій та перспективи модернізації універсальних випробувальних машин	114

СЕКЦІЯ «АВТОМАТИКА В ЕЛЕКТРОНІЦІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ»

Герман Б. А., Бартошик О. В., Цюпящук Я. В. Дистанційне керування сигналізацією за допомогою модуля GSM	117
Євсюк М. М., Ковалюк Н. В. Розроблення мікроконтролерного терміналу для автоматизованого керування системами вуличного освітлення	121
Заблоцький В. Ю., Гикавий С. В. Розроблення системи відеоспостереження промислового підприємства	124
Лишук В., Денисюк К. Застосування принципів спектрального ущільнення для збільшення пропускної здатності оптоволокна	131
Лотоцький В. І., Мельник О. В., Власик О. О. Аналіз методів регулювання температури для паяльного обладнання	134
Хвищун М. В., Кречик А. П., Хвищун Д. М., Рубльов В. В. Розроблення бездротового комунікаційного пристрою на основі STM32 та LoRa	137
Хвищун М. В., Сидорук В. В., Хвищун Д. М., Бернасюк М. В. Розроблення інтелектуальної системи керування домашнім опаленням з використанням Raspberry Pi 4	142
Шумік А. О., Шибенюк Р. А., Захарчук М. Д., Хвищун М. В. Система розпізнавання голосових команд на базі Raspberry Pi	148
Якимчук Н. М., Карпінський Н. К. Організація UART-комунікації в STM32 для системи комутації кінцевих пристроїв	152
Якимчук Н. М., Лишук В. В. Методологія інтегрованого моделювання та спільного проектування в сучасних електронних системах	156

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Actual Problems of Automation and Control"

Відсортовані овочі можуть поступати на брикетування. Брикетують сушені овочі на гідравлічних пресах. Брикети фасують в металеві банки. Тоді банки закатують на закатувальній машині та для запобігання корозії металу змащують у ванні технічним вазеліном, що підігрітий до температури 135 °С.» [4]

«Початкові стадії технологічного процесу виробництва сушених овочів виконуються за допомогою комплексів устаткування для зберігання, транспортування та підготовки до виробництва сировини, води, солі, жиру і інших видів сировини. Для зберігання сировини використовують спеціальні сховища, холодильні камери, бурти, траншеї і т. д.

Підготовку сировини здійснюють за допомогою мийних машин, інспекційних транспортерів і устаткування для очищення і виконання допоміжних операцій.

Провідний комплекс лінії складається з овочерізок, бланшувачів, сушарок.

Наступний комплекс лінії включає устаткування для дозування і змішування рецептурних компонентів.

Завершальний комплекс устаткування лінії забезпечує упаковку, зберігання і транспортування готових виробів. Він містить фасувально-пакувальні машини та устаткування експедиції і складування готової продукції.» [4]

Постановка завдання.

Система контролю та автоматизації технологічного процесу виробництва сушених овочів повинна забезпечувати: ведення процесу в оптимальних режимах, запобігання аварійних режимів і підвищення ефективності праці обслуговуючого персоналу, підтримання технологічних параметрів у чітко регламентованому режимі.

Система повинна реалізовуватись на основі приладів, що випускаються серійно, засобів контролю та автоматизації.

Датчики і регулюючі пристрої, що безпосередньо контактують з технологічними рідинами і продуктами, повинні мати відповідний ступінь захисту від корозії.

Система автоматизації технологічного процесу виробництва сушених овочів повинна забезпечувати:

1) контроль роботи механізмів гідротранспортерів та стрічкових конвеєрів. Схема контролю повинна забезпечувати: відключення гідротранспортерів (в автоматичному режимі) при зупинці руху конвеєра або обриві його. У випадку зупинки будь-якого механізму на маршруті руху сировини всі попередні механізми повинні зупинитися одразу ж, а наступні - після обробки сировини;

2) встановлення контролю рівня в мийних очисних машинах з виводом на щит світлової сигналізації;

3) узгодження роботи гідротранспортера і стрічкових конвеєрів в часі;

4) контроль навантаження електродвигунів;

5) контроль та автоматичну стабілізацію температури бланшування;

6) контроль та регулювання тиску пари біля входу в калорифер, в очисній машині;

7) контроль та регулювання тиску води, що надходить в мийну очисну машину;

8) контроль температури в конвеєрній сушарці;

9) дистанційне управління насосами та вентилями;

10) спрацювання сигналізації при порушенні одного із параметрів та аварійне вимкнення обладнання.

Виклад основного матеріалу.

На основі проведеного аналізу технологічного процесу виробництва сушених овочів були визначені основні технологічні параметри процесу та їх допустимі відхилення, що наведені в таблиці 1.

Процес виготовлення сушеної моркви можна розділити на окремі стадії, кожній з яких характерний свій набір регулюючих та контрольованих параметрів: - прийом і зберігання сировини; миття; інспекція; калібрування; очищення; обробка розчином бісульфіту натрію; доочистка; різка; бланширування (при паровому або лужному способах очищення); сушіння; інспекція і упаковка.

Таблиця 1 – Карта технологічного процесу виробництва сушених овочів

Технологічний процес	Параметр	Межі регулювання
Очищення	Тиск пари	0,30-0,35 МПа
	Тиск води	0,30-0,5 МПа
	Час	40-50 с
Сульфитація	Концентрація розчину бісульфіту натрію	0,1 %
	Час	1-2 хв
Бланшування	Температура	95-98 °С
	Час	4-6 хв
Сушіння	Температура	52-70 °С
	Тиск	0,40-0,60 МПа
	Час	3-3,5 год

Взаємодію всіх вище перерахованих параметрів зображено на схемі (рис. 1).

Для того, щоб морква відповідала встановленим вимогам, потрібно суворо дотримуватись: технології виготовлення, температурі та часу її обробки. Таким чином контрольовані величини можна організувати наступним чином:

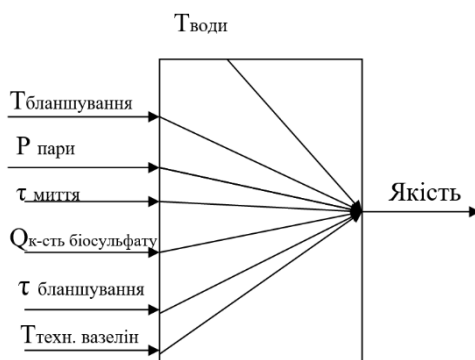


Рисунок 1 – Схема зв'язків між вхідними та вихідними величинами:
 T – температура, Q – витрата, τ – час; P – тиск

Збурюючими величинами є температура води.

Зміна хоча б одного із вхідних параметрів на недопустиму похибку критично позначається на вихідних параметрах готового продукту (моркви). Наприклад, неправильне внесення компонентів призведе до виходу продукту неналежної якості.

У випадку стабілізації зазначених змінних величин забезпечується виконання поставленої технологічної задачі.

Висновки: Проведений аналіз технологічного процесу виробництва сушених овочів показав, що керування здійснюється з використанням морально та технічно застарілих засобів автоматизації, що не дозволяє забезпечити необхідну точність дозування компонентів та підтримання заданого значення технологічних параметрів технологічного процесу. Базова система керування має високу інерційність.

Для забезпечення високої якості сушених овочів та збільшення продуктивності лінії необхідно:

- 1) провести аналіз технологічного процесу як об'єкта керування;
- 2) розробити функціональну схему автоматизованої системи керування;
- 3) здійснити вибір датчиків, виконавчих механізмів та контролера;
- 4) розробити принципову електричну схему під'єднання датчиків та виконавчих механізмів до контролера;
- 5) розробити програмне забезпечення;
- 6) провести розрахунки економічної ефективності впровадження розробленої автоматизованої системи керування.

1. Сушіння овочів та фруктів. URL: <https://bmholod.com.ua/solution/liniyi-pererobky/sushinnya-ovoshchey-ta-fruktiv/> (дата звертання 10.11.2025).
2. Виробництво сушених овочів і фруктів. URL: <https://www.erdkraft.com.ua/virobnitstvo/> (дата звертання 10.11.2025).
3. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції: Навчальний посібник / Н. О. Ситнікова, К. Ф. Фомина, Л. І. Дудник, Н. Н. Чернозубенко, Л. І. Кузьменко. К., 2008. 304 с.
4. Технологічне обладнання виробництва сушених продуктів. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/tema-12.-tehnolohichne-obladnannja-vyrobnuctva-sushenyh-produktiv.pdf> (дата звертання 10.11.2025).
5. Формування якості сушених фруктів і овочів в процесі виробництва. URL: https://pidru4niki.com/14111023/tovarovnavstvo/formuvannya_yakosti_sushenih_fruktiv_ovochiv_protse_si_virobnitstva (дата звертання 10.11.2025).

УДК 62-95

Савчук М. В., Сацук В. О.

Луцький національний технічний університет

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУАСАНІВ

У роботі описано основні етапи процесу виробництва круасанів. Виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта керування. Завдяки цьому аналізу виробничий процес стає не просто серією технологічних операцій, а системою, здатною до самоконтролю, оптимізації та адаптації до мінливих умов – ключових принципів сучасного інтелектуального виробництва. Визначено параметри технологічного процесу виробництва круасанів, які необхідно контролювати. Визначено задачі автоматизації технологічного процесу виробництва круасанів.

Ключові слова: виробництво круасанів, технологічні параметри, керування.

Savchuk M., Satsyk V. Automated Control System for the Technological Process of Croissant Production. The paper describes the main stages of the croissant production process. An analysis of the technological process as a control object has been performed. Thanks to this analysis, the production process becomes not just a series of technological operations, but a system capable of self-control, optimization, and adaptation to changing conditions—key principles of modern intelligent production. The parameters of the technological process of croissant production that need to be controlled are determined. The tasks of automating the technological process of croissant production are defined.

Keywords: croissant production, technological parameters, control.

Постановка проблеми. В останні роки виробництво круасанів стає все більш привабливим сегментом хлібопекарської промисловості завдяки низці соціальних, економічних та технологічних факторів.

1. Зростання споживчого попиту. Споживачі асоціюють круасани з високою якістю, європейським майстерністю та насолодою. Їхня універсальність розширює ринкові можливості. Поширення культури кав'ярень ще більше стимулювали споживання свіжих, готових до вживання хлібобулочних виробів.

2. Розширення секторів роздрібної торгівлі. Швидкий розвиток кав'ярень, пекарень, готелів та міні-маркетів збільшив потребу в стабільних високоякісних кондитерських виробках. Круасани ідеально вписуються в цю ринкову нішу завдяки своїй естетичній привабливості, смаку та універсальності зберігання.

3. Технологічний прогрес у виробництві харчових продуктів. Досягнення в харчовій технології, такі як камери ферментації з контрольованою температурою та автоматизовані печі, дозволяють здійснювати виробництво у великих масштабах, зберігаючи при цьому якість, властиву ручному виробництву. Ці технології роблять виробництво круасанів більш економічно ефективним і масштабованим.

4. Тенденції в галузі здоров'я та якості. Сучасний споживач все частіше вимагає продуктів з високоякісними інгредієнтами. Це спонукає виробників до інновацій у контролі процесів, щоб зберегти смак і текстуру, одночасно забезпечуючи поживну цінність та відповідність стандартам.

Розробка автоматизованої системи керування виробництвом круасанів є актуальною з ряду причин.

1. Процес виробництва круасанів є дуже чутливим до технологічних параметрів. Навіть незначні відхилення можуть істотно вплинути на якість, текстуру та зовнішній вигляд продукту. Тому автоматизація та контроль процесу мають вирішальне значення.

2. Автоматизовані системи керування забезпечують повторюваність технологічних параметрів, що є критично важливим для підтримання однакової якості продукції в усіх партіях.

3. Автоматизація зменшує кількість людських помилок та відходів матеріалів за рахунок оптимізації енергоспоживання, використання інгредієнтів та часу виробництва. Вона дозволяє здійснювати профілактичне обслуговування та ефективне планування операцій, що знижує виробничі витрати.

4. Сучасні системи керування можуть інтегруватися з цифровими виробничими платформами, що дозволяє збирати та аналізувати дані для оптимізації процесів.

5. Розвиток автоматизованого виробництва круасанів відповідає глобальному переходу до інтелектуального виробництва та концепції «цифрової пекарні». Інтеграція датчиків IoT, ПЛК та систем SCADA перетворює традиційне виробництво на інтелектуальний, адаптивний процес.

6. Автоматизація зменшує залежність від ручної праці, вирішуючи проблему нестачі кваліфікованих пекарів та покращуючи стандарти гігієни та безпеки харчових продуктів – особливо актуальний фактор у післяпандемічну епоху.

Таким чином, розробка автоматизованої системи керування не тільки підвищує стабільність якості продукції та ефективність, але й сприяє цифровій трансформації в харчовій промисловості, відповідаючи сучасним стандартам стійкості та якості.

Метою роботи є модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення круасанів.

Викладення основного матеріалу.

Процес виробництва круасанів – це складний багатоетапний процес, що поєднує механічні операції, біохімічні перетворення та точну термічну обробку. Якість кінцевого продукту – його листовата текстура, шарувата структура та маслянистий аромат – залежить від точності та послідовності кожного технологічного етапу [1].

Процес можна розділити на такі основні етапи [2].

1. Підготовка сировини з метою забезпечення високої якості та стандартизації вихідних матеріалів для стабільної якості продукції.

Вибір борошна: пшеничне борошно із середнім або високим вмістом глютену (11-13 %) забезпечує необхідну еластичність та розтяжність для ламінування.

Жири: несолоне масло або спеціальний маргарин для ламінування з визначеною температурою плавлення забезпечує розділення шарів під час випікання.

Інші інгредієнти: цукор, сіль, дріжджі, молоко (або сухе молоко), вода та поліпшувачі (наприклад, аскорбінова кислота, ферменти) використовуються для досягнення бажаної реології тіста та активності бродіння.

Попередня обробка: інгредієнти зважують і кондиціонують до контрольованої температури (зазвичай 18-22 °C для борошна і 10-14 °C для жирів) для забезпечення стабільності процесу.

2. Замішування та вимішування тіста з метою отримання однорідного тіста з оптимальною структурою глютену та здатністю утримувати газ.

Просіяне борошно, розтоплений жир, дріжджова суспензія, сольовий розчин та інші компоненти подаються до тістомісильної машини.

Замішування проводиться у два етапи:

– початкове замішування (1-2 хв) для гомогенізації – швидкість обертання міксера 60-120 об/хв, мета: швидко змішати інгредієнти, зволожити борошно, уникнути переробки глютену,

– інтенсивне замішування (6-10 хв) для формування глютенної клітковини – швидкість обертання міксера 120-240 об/хв, мета: сформувати глютену мережу та досягти цільової консистенції/міцності тіста.

Не слід замішувати тісто надто довго, щоб уникнути надмірної еластичності, яка ускладнює ламінування.

Температура тіста в кінці змішування підтримується на рівні 20-22 °C, а вологість – 33-41 %.