

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Модернізація системи автоматичного керування
безперебійним джерелом живлення
(тема)

Виконав:

здобувач 2 року, групи КІПВм-23-3

Канунніков А. Р.

(прізвище, ініціали)

Спеціальності 174 Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-
інтегровані технологічні процеси і
виробництва

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Аллахверанов Р. Ю.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2025р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Тип програми	освітньо-професійна
Освітня програма	Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____

(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові _____ *Кануннікову Артему Романовичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Модернізація системи автоматичного керування безперебійним джерелом живлення*

затверджена наказом по університету від "22" листопада 2024 р. № 1231 Ст.

2. Термін подання студентом роботи "27" січня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 *Джерело безперебійного живлення типу On-line;*3.2 *Незмінне активно-індуктивне навантаження – 10 кВА;*3.3 *Активно-індуктивне навантаження – 2 кВА;*3.4 *Під'єднане випрямне навантаження – 2 кВА;*3.5 *Пакет прикладних програм – MATLAB;*3.6 *Оформлення текстової документації – ДСТУ 3008-2015.*4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 *Вступ;*4.2 *Аналіз типів джерел безперебійного живлення;*4.3 *Розрахунок функціональних елементів безперебійних джерел живлення;*4.4 *Перехідні функції елементів системи автоматичного керування;*4.5 *Охорона праці;*4.6 *Висновки.*

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій *Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 27 с. формату А4*

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз типів джерел безперебійного живлення</i>	25.11 – 30.11.24	<i>виконано</i>
2	<i>Перехідні функції елементів системи автоматичного керування</i>	01.12 – 12.12.24	<i>виконано</i>
3	<i>Дослідження імітаційної моделі безперебійного джерела живлення</i>	13.12 – 31.12.24	<i>виконано</i>
4	<i>Охорона праці</i>	01.01 – 06.01.25	<i>виконано</i>
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	07.01 – 10.01.25	<i>виконано</i>
6	<i>Подання роботи на перевірку Інтернет-системою StrikePlagiarism</i>	11.01 – 13.01.25	<i>виконано</i>
7	<i>Подання роботи на рецензію</i>	14.01 – 17.01.25	<i>виконано</i>
8	<i>Подання роботи на підпис зав. кафедри</i>	18.01 – 21.01.25	<i>виконано</i>
9	<i>Подання кваліфікаційної роботи в ЕК</i>	28.01.25	<i>виконано</i>

Дата видачі завдання 25.10.2024 р.

Здобувач _____ Канунніков А. Р.
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Аллахверанов Р. Ю.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«20» січня 2024р.



Канунніков А. Р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 69 с., 1 табл., 35 рис., 1 дод., 20 джерел.

БЕЗПЕРЕБІЙНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ, ФІЛЬТР, ІНВЕРТОР, ВИПРЯМЛЯЧ, ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, MATLAB.

Мета роботи – підвищення функціонування безперебійного джерела живлення, за рахунок модернізації системи автоматичного керування.

Об'єктом дослідження – процес керування функціонуванням безперебійного джерела живлення.

Предметом дослідження – імітаційна модель безперебійного джерела живлення.

Для розв'язання поставлених завдань використовувалися: методи математичного моделювання, теорії автоматичного управління, теорії фільтрації та системного аналізу. Достовірність наукових положень підтверджується проведеними випробуваннями імітаційної моделі безперебійного джерела живлення.

Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема до пункту 9.4 «Розвиток високотехнологічного машинобудування».

ABSTRACT

Explanatory note: 69 pp., 1 tab., 35 figs., 1 appendices, 20 sources.

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY, AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, BATTERY, DC-TO-DC CONVERTER, FILTER, INVERTER, RECTIFIER, PULSE WIDTH MODULATION, SIMULATION MODEL, MATLAB.

Purpose - to improve the functioning of an uninterruptible power supply by modernizing the automatic control system.

The object of research is the process of controlling an uninterruptible power supply.

The subject of research is a simulation model of an uninterruptible power supply.

The following methods were used to solve the tasks: mathematical modeling, automatic control theory, filtration theory, and system analysis. The validity of the scientific positions is confirmed by the tests of the simulation model of the uninterruptible power supply.

The results of the work can be attributed to the Sustainable Development Goal 9 “Industry, Innovation and Infrastructure”, in particular, to the paragraph 9.4 “Development of high-tech engineering”.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ	10
1 Аналіз типів джерел безперебійного живлення	13
1.1 Призначення та основні конфігурації безперебійних джерел живлення	13
1.2 Типи безперебійних джерел живлення	14
1.3 Переваги та недоліки безперебійних джерел живлення	18
1.4 Висновки до розділу	20
2 Перехідні функції елементів системи автоматичного керування	22
2.1 Структурна схема безперебійного джерела живлення типу On-line	22
2.2 Основні функціональні елементи безперебійного джерела живлення ...	23
2.3 Система автоматичного керування безперебійним джерелом живлення	31
2.4 Висновки до розділу	35
3 Дослідження імітаційної моделі безперебійного джерела живлення	36
3.1 Опис імітаційної моделі	36
3.2 Гармонійний аналіз вихідного струму за різних видів навантаження ...	42
3.3 Робота безперебійного джерела живлення у режимі живлення від мережі	44
3.3 Робота безперебійного джерела живлення в аварійному режимі	49
3.4 Робота імітаційної моделі на випрямне завантаження	51
3.5 Порівняльний аналіз трирівневого й однофазного мостового інвертора	57
3.6 Висновок до розділу	59
4 Охорона праці	60
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці	60

4.2 Промислова безпека на робочому місці	60
4.3 Виробнича санітарія у приміщенні	61
4.4 Пожежна безпека у приміщенні	63
Висновки	65
Перелік джерел посилання	67
Додаток А Демонстраційний матеріал	70

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АБ – акумуляторна батарея;

БДЖ – безперебійне джерело живлення;

ВПр – випрямляч;

ДВН – датчик вхідної напруги;

ДС – датчик струму;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ІНВ – інвертор;

ІС – інтегральна мікросхема;

КК – керівний каскад;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

МП – мікропроцесор;

ПК – персональний комп'ютер;

ПН – помножувач напруги;

ПП – підсилювач помилки;

ППН – перетворювач постійної напруги;

САК – система автоматичного керування;

ТЗ – технічне завдання;

Ф – фільтр;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

ВСТУП

Джерело безперервного живлення (БДЖ) – автоматичний пристрій, котрий дозволяє приєднаному до нього обладнанню деякий (для комп'ютерних мереж, здебільшого нетривалий – декілька хвилин) час працювати від вбудованих акумуляторів, під час зникнення електричного струму в електромережі, або у разі відхилення його показників (параметрів) від допустимих норм.

Крім того, воно здатне змінювати показники якості (напругу, частоту) електроживлення для досягнення рекомендованих. Часто застосовується для забезпечення безперервної роботи, зокрема комп'ютерів. Може поєднуватися з різними видами генераторів електроенергії. БДЖ нині стають дуже затребуваними. Не має значення, де живе сучасна людина – у міській квартирі, в заміському будинку, до його життя міцно увійшли різні побутові прилади, цифрова комп'ютерна техніка, системи життєзабезпечення.

Сучасні БДЖ – повністю автоматизовані системи. Однак це не означає, що ними не потрібно керувати. І незалежно від ступеня вдосконалень, у будь-якому БДЖ передбачено відповідні модулі, а також програмне забезпечення (ПЗ), що дають змогу власнику здійснювати контрольні функції за діяльністю приладу з можливістю внесення бажаних коригувань у режими функціонування.

Сьогодні виробниками БДЖ в інструкції завжди вказується, що продукт є підсумком високих технологій та інтелектуальних напрацювань. Але це викликає цілком резонне запитання: якщо апарат настільки досконалий, тоді навіщо йому ще й керування?

Дійсно, сучасні БДЖ здатні багато операцій виконувати в автоматичному режимі, про що повідомляючи власника певними звуковими та світловими сигналами. Так само самостійно пристрої здатні, проаналізувавши ситуацію, перемикає режими, реагуючи на зміни в мережі живлення.

Відповідно до цих нормативів практично всі нинішні моделі БДЖ мають різні рівні керування: ручний, автоматичний, віддалений та комбінований.

БДЖ, що характеризуються малою потужністю, мають ручне управління. У його завдання входять захист маломасштабних інформаційних систем, забезпечуючи якісне енергопостачання, відхилення від норм якого перебуває в певному діапазоні. Для чого на передній панелі розміщено відповідні кнопки, якими користується обслуговуючий персонал.

Установки середньої потужності відрізняються наявністю дистанційного керування. Для цього передбачена виносна панель адміністратора або відповідна робоча станція, зазвичай це персональний комп'ютер (ПК).

Пристрої високої потужності можуть управлятися і в ручному, і в автоматичному режимі, які гармонійно поєднуються між собою. Це значною мірою підвищує гарантію надійної роботи обладнання, оскільки персонал має можливість проводити уточнення параметрів, отриманих двома шляхами.

Слід зазначити, що на сьогодні дедалі актуальнішим стає віддалене керування БДЖ, коли надається можливість контролювати і вносити корективи в роботу пристрою, встановленого разом з обладнанням у важкодоступних районах або на віддалених ділянках. Модулі дають змогу в цілодобовому режимі мати доступ до найсвіжішої інформації для ухвалення оперативних рішень.

Залежно від масштабів об'єкта, що піддається моніторингу, системи керування також можуть відрізнитися між собою. Зокрема, передбачено елементи, які налагодять управління індивідуальними БДЖ, які стоять на захисті від збоїв файлові сервери в невеликих локальних мережах. А є модулі, розроблені для контролю потужних моделей, які захищають одразу кілька серверних станцій. Між тим, у кожен такий пристрій закладено одну загальну програму, яка повинна в разі виникнення критичної ситуації виконувати автоматичну зупинку обладнання, повідомляти про реєстрацію несправностей, які заносяться до відповідного журналу, та здійснювати перезавантаження загальної системи після відновлення параметрів основного живлення.

Очевидно, що керування не тільки необхідне, але це і вкрай відповідальний процес, під час якого виконується певний цикл операцій, пов'язаних із серйозною аналітикою.

З огляду на сказане вище підкреслимо зростання інтересу в цій царині та актуальність проблеми, проте водночас відсутня формалізована методика розв'язання поставленої задачі, що дає змогу визначити межі можливості системи автоматичного керування (САК) БДЖ. Отже, тема кваліфікаційної роботи – актуальна.

Мета роботи полягає у підвищенні функціонування безперебійного джерела живлення, за рахунок модернізації системи автоматичного керування.

Об'єктом дослідження є процес керування функціонуванням безперебійного джерела живлення.

Предметом дослідження є імітаційна модель безперебійного джерела живлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз типів БДЖ;
- провести розрахунок функціональних елементів БДЖ;
- змодельовати імітаційну модель БДЖ;
- розробити заходи та технічні засоби щодо забезпечення безпеки праці персоналу, що працює в лабораторії, де виконувалася робота над дослідженнями.

Робота виконується згідно з [1-4], як складова наукових досліджень, які проводяться на кафедрі КІТАР Харківського національного університету радіоелектроніки, результати дослідження опубліковані у [5], отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», зокрема до пункту 9.4 «Розвиток високотехнологічного машинобудування».

1 АНАЛІЗ ТИПІВ БЕЗПЕРЕБІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

1.1 Призначення та основні конфігурації джерел безперебійного живлення

БДЖ є електричним обладнанням, яке забезпечує безперервне живлення чутливих електричних та електронних пристроїв навіть у разі відключення електроенергії. Поширеними проблемами з електропостачанням є збої в електроживленні, низька напруга, знеструмлення, перебої (тимчасове переривання), стрибки напруги тощо.

Основна мета БДЖ – забезпечити миттєве резервне живлення під час збою або відключення електромережі. Але через вищезазначені проблеми сучасне БДЖ може не тільки забезпечити безперебійне живлення, але й захистити чутливі електронні пристрої, ІТ-обладнання та інші електричні навантаження від шкідливих наслідків.

БДЖ постійно контролює вхідне джерело живлення та забезпечує чисте та стабільне постачання. Використовуючи БДЖ з таким ІТ-обладнанням (ПК, модем, сервер, тощо) воно захищає не лише обладнання, але й безперебійний доступ до даних, оскільки немає перерв у електроживленні.

Є три основні конфігурації БДЖ:

- On-line;
- лінійно-інтерактивні;
- резервні (або Off-line).

Online-джерело безперебійного живлення забезпечує безперервний захист живлення завдяки використанню топології подвійного перетворення.

Лінійне інтерактивне джерело безперебійного живлення, батарея виконує функцію резервного живлення, але мережеве живлення постійно контролюється на наявність коливань. Автономне джерело безперебійного живлення є базовою конфігурацією для забезпечення резервного копіювання. Тут описана схема

джерела безперебійного живлення.

1.2 Типи джерел безперебійного живлення

БДЖ – це пристрій, який живить пристрої, підключені до його розеток змінного струму, коли потік електроенергії падає до недостатньої напруги або якщо відбувається повне відключення. У разі відключення електроенергії БДЖ негайно перемикається на роботу від батареї, щоб забезпечити безперервне джерело живлення протягом усього часу роботи батареї, який залежить від системи на періоди часу від хвилин до годин.

Залежно від розміру та технології блоку, БДЖ здатний захистити один ПК або цілий центр обробки даних. Вкрай необхідний для критично важливих середовищ, БДЖ забезпечує безпеку та працездатність комп'ютерних систем та ІТ-обладнання під час зникнення електроенергії, доки генератори не будуть активовані або захищені пристрої, такі як сервери та мережеві компоненти, можуть бути належним чином закриті, запобігаючи втраті даних і ввімкненню.

Окрім забезпечення резервного живлення під час збою електромережі, БДЖ також забезпечують різний ступінь захисту від інших шкідливих проблем із живленням, зокрема провалів напруги, стрибків напруги, перебоїв у напрузі, перешкод у мережі, коливань частоти, умов перенапруги та перехідних процесів перемикавання та гармонійних спотворень [6].

1.2.1 Джерела безперебійного живлення в режимі очікування

Технологія резервного живлення, яка також називається автономна або пасивним БДЖ (Off-line або Standby), пропонує найпростіший тип захисту, дозволяючи обладнанню відключатися від джерела живлення, доки не виявиться проблема (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Приклад реалізації БДЖ

У резервній моделі БДЖ підключені пристрої отримують живлення від мережі через пряме підключення змінного струму, при цьому БДЖ фактично залишається в режимі очікування, доки не знадобиться резервне живлення.

БДЖ у режимі очікування перемикається на акумулятор, щоб захистити під'єднане обладнання у разі збою живлення, а також регулювати звичайні провали та стрибки напруги. Затримка при зміні режиму з очікування на активну фазу складає декілька мілісекунд після втрати живлення, і хоча перемикання не відбувається миттєво, у більшості випадків воно не перериває потік живлення до обладнання але треба враховувати вразливість обладнання навіть до мізерної відсутності живлення.

Якщо очікується тривале відключення, резервне живлення від батареї забезпечить безпечне відключення, щоб обладнання та дані залишалися захищеними.

Оскільки резервна топологія не захищає обладнання від інших поширених аномалій живлення, вона найкраще підходить для некритичних і менш вимогливих домашніх мереж і офісних середовищ, які не зазнають частих збоїв. Хоча БДЖ у режимі очікування є найдешевшим типом БДЖ, недоліком цієї топології є те, що вона, порівняно з іншими типами, використовує акумулятор, що може зменшити час роботи та термін служби.

1.2.2 Лінійно-інтерактивні джерела безперебійного живлення

БДЖ із лінійно-інтерактивною топологією (Line-Interactive) розроблено для захисту підключених пристроїв від збоїв, перепадів і стрибків напруги, як модель у режимі очікування, а також забезпечує захист від стрибків і перепадів напруги.

Лінійно-інтерактивний БДЖ, який зазвичай використовується для захисту корпоративної мережі та ІТ-додатків, керується мікропроцесором, який контролює якість вхідного живлення та реагує на коливання (рис. 1.2).

Натомість до забезпечення більшого захисту, ніж резервні БДЖ, лінійно-інтерактивні блоки пропонують краще фільтрування та регулювання живлення, що допомагає продовжити термін служби батареї.



Рисунок 1.2 – Лінійно-інтерактивний БДЖ

Одна з найбільших переваг лінійно-інтерактивної топології полягає в тому, що вона компенсує умови низької та підвищеної напруги без використання батарей.

За звичайних умов живлення лінійно-інтерактивні БДЖ передають вхідну потужність підключеному обладнанню через фільтр перенапруг/шумів і

регулятор напруги, тоді як інвертор заряджає акумулятор для екстреного використання під час відключення.

Однак, якщо напруга коливається за межами безпечного вікна, БДЖ покладається на вбудовану систему автоматичного регулювання напруги, щоб збільшити або зменшити вихідну напругу до задовільного рівня.

Поки вхідна напруга залишається в безпечному діапазоні, лінійно-інтерактивні системи безперебійного живлення регулюють вихідну напругу без використання живлення від батареї.

Ця перевага забезпечує меншу кількість переходів на живлення від акумулятора, який може виснажити резервну потужність, призначену для відключення, і скоротити термін служби батареї.

Під час відключення лінійно-інтерактивний БДЖ перетворює накопичену енергію батареї в регульовану вихідну потужність змінного струму для підтримки навантаження підключеного обладнання.

1.2.3 Джерела безперебійного живлення з подвійним перетворенням напруги – online

У той час як моделі БДЖ у режимі очікування та лінійно-інтерактивного БДЖ забезпечують різний ступінь фільтрації живлення, БДЖ з подвійним перетворенням напруги (online) розроблено для забезпечення безперервного захисту від усіх дев'яти найпоширеніших проблем із живленням, забезпечуючи постійне чисте живлення незалежно від будь-яких вхідних нестабільностей.

Щоб створити джерело живлення без будь-яких електричних перешкод, вихідна напруга даного БДЖ повністю регенерується послідовністю перетворення змінного струму в постійний, а потім перетворення постійного струму в змінний.

Під час нестабільного живлення або короткочасних збоїв, коли вхідна потужність змінного струму виходить за межі заданих допусків для режиму інтерактивного зв'язку, БДЖ online перемикається в режим подвійного перетворення, повністю ізолюючи обладнання від вхідного живлення (рис. 2.3).



Рисунок 1.3 – Приклад реалізації БДЖ On-line

Інтерактивні БДЖ є оптимальним вибором для критично важливих додатків або тих, що включають високочутливе обладнання, наприклад центри обробки даних, комунікаційні вузли та інші установи, де безперервне чисте живлення є критично важливою вимогою для бізнесу. Вони також корисні в середовищах, які особливо схильні до постійних перебоїв електроенергії.

1.3 Переваги та недоліки джерел безперебійного живлення

Хоча застосування БДЖ має численні переваги, перш за все, вони захищають від збоїв в електромережі, які відбуваються в наш час все частіше. Хоча відключення електроенергії можуть бути спричинені багатьма проблемами – включно з автомобільними аваріями, втручанням тварин і надмірним навантаженням на електромережі – несприятливі погодні умови.

Окрім підтримки роботи обладнання під час втрати електроенергії, БДЖ також діє як фільтр для захисту пристроїв від перепадів у електроживленні, які можуть спричинити пошкодження чутливих пристроїв, наприклад комп'ютерів та мережевого обладнання. Залежно від топології, БДЖ надає постійний доступ до якісного живлення для підключених пристроїв, допомагаючи захистити від типових аномалій живлення, які можуть пошкодити обладнання. Крім того, резервне живлення від батареї запобігає втраті даних і дає час для збереження незавершеної роботи під час збоїв, стрибків напруги або інших змін живлення.

До недоліків джерел безперебійного живлення можна віднести:

– вартість. Основною проблемою системи БДЖ є її вартість. Акумулятор, який використовується в БДЖ, зазвичай робить його дорожчим. Ця вартість навіть збільшується для компаній, яким потрібно кілька систем БДЖ. Тому не всі користувачі зможуть їх собі дозволити;

– технічне обслуговування. Використання системи БДЖ також вимагає багатьох міркувань через її обслуговування. Це ще гірше для компаній із великою кількістю підключень БДЖ. Кваліфікований електрик повинен бути призначений для керування системами електропроводки та забезпечення безпомилкового обслуговування. Крім того, для належного функціонування систем БДЖ воно повинно мати достатню вентиляцію, оскільки регулярно виділяє пари;

– довговічність. Оскільки батарея відповідає за функціонування системи БДЖ, вона не призначена для роботи вічно. Подібно до інших типів акумуляторів, його функція з часом погіршується. Стандартний БДЖ може прослужити в середньому 10 років, після чого пристрій помре. Тут можна відновити БДЖ шляхом заміни батареї;

– захист пристрою. Оскільки джерело безперебійного живлення живиться від батареї, його не рекомендується використовувати в пристроях, які потребують значної кількості енергії. Наприклад, БДЖ не можна використовувати як резервне джерело для кондиціонера з високим енергоспоживанням. Навіть період часу, протягом якого БДЖ може забезпечити резервне живлення, обмежений. Таким чином, якщо ви проживаєте в місцях, де тривалі відключення електроенергії, БДЖ не буде найкращим варіантом;

– споживана потужність. Система БДЖ завжди споживає більше енергії, ніж окремий пристрій. Сума значно перевищує фактичну кількість, необхідну для пристрою. Це пояснюється тим, що батарея, яка використовується в БДЖ, повинна залишатися зарядженою весь час. Для цього його потрібно підключити до розетки, що сприяє більшій втраті енергії.

1.4 Висновки до розділу

Аналіз розглянутих трьох основних видів БДЖ показує, що для захисту локальних обчислювальних мереж і розв'язання всіх вищевказаних проблем найдоцільніше використання БДЖ з подвійним перетворенням енергії (On-line). Даний тип БДЖ характеризується відсутністю проміжку часу між зникненням зовнішньої напруги і початком живлення від акумуляторних батарей, має захист від спотворень форми кривої напруги і мікросекундних імпульсів, плавну стабілізацію напруги з високою точністю, можливість роботи в мережах з нестабільною частотою. Саме цей тип БДЖ вибираємо для подальших розрахунків.

При функціонуванні БДЖ виділяються такі режими:

- мережевий режим;
- автономний режим;
- режим Ву-pass.

Мережевий режим – режим, за якого для живлення навантаження використовують двічі перетворену енергію мережі.

У цьому режимі відбуваються:

- фільтрація мережевих перешкод (імпульсних і високочастотних);
- перетворення змінної напруги мережі в постійну за допомогою випрямляча;
- перетворення за допомогою інвертора постійної напруги в змінну зі стабільними параметрами;
- постійний заряд акумуляторних батарей за допомогою зарядного пристрою.

Автономний режим – режим, за якого для живлення навантаження використовується енергія акумуляторних батарей (АБ). У разі зникнення живильної напруги або відхилення параметрів мережі за гранично допустимі значення БДЖ миттєво переходить в автономний режим. У разі відновлення

напруги або відновлення оптимальних параметрів мережі, БДЖ автоматично переходить у мережевий режим.

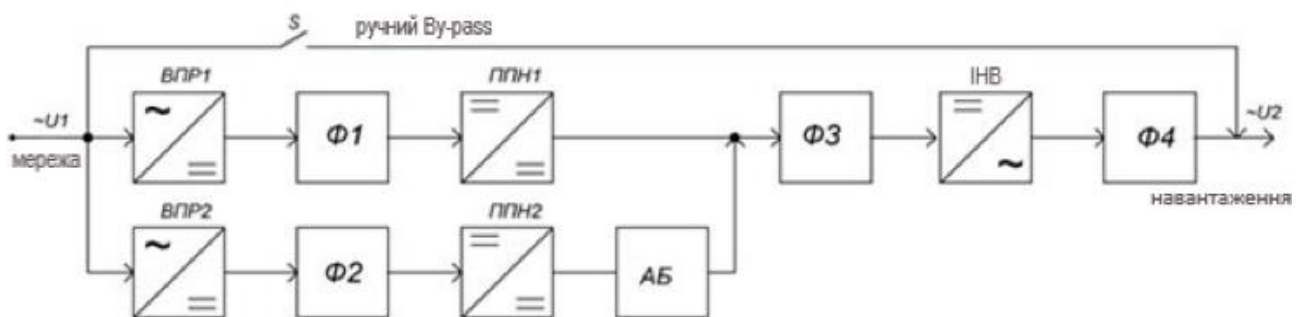
Режим Ву-pass – це режим живлення навантаження мережевою напругою в обхід основної схеми системи безперебійного живлення. Наприклад, в обхід БДЖ, стабілізатора або дизель-генератора. Часто Ву-pass називають самою обхідною захисною лінією (ланцюг) та її супутню комутаційну апаратуру. Перехід пристрою в режим Ву-pass може виконуватися автоматично або вручну. БДЖ зі схемою On-Line автоматично переходять у режим Ву-pass при перевантаженні вихідних ланцюгів або у разі виникнення внутрішніх несправностей. Таким чином, навантаження захищається не тільки від збоїв в електромережі, але і від несправностей в самому БДЖ. Можливість ручного переведення пристрою в режим Ву-pass передбачена на випадок проведення його технічного обслуговування без відключення навантаження. У режимі Ву-pass живлення навантаження здійснюється безпосередньо від мережі і не має жодних захистів від неякісної напруги.

2 ПЕРЕХІДНІ ФУНКЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

2.1 Структурна схема джерела безперебійного живлення типу On-line

САК БДЖ залежить від завдань, які покладаються на сам пристрій. У деяких випадках необхідно домогтися найменшого показника – час перемикання навантаження на живлення від АБ або навпаки. В інших випадках необхідно забезпечити довготривалу роботу від АБ, при цьому час перемикання не є критичною величиною. Тобто, можна сказати, що для кожного конкретного випадку потрібно вирішувати абсолютно різні технічні завдання.

Використовуваний БДЖ виконано за технологією типу On-line з режимом ручного Ву-pass, структурну схему БДЖ наведено на рис. 2.1.



АБ – акумуляторна батарея; ВЛР – випрямляч; ІНВ – інвертор;

ППН – перетворювач постійної напруги; Ф – фільтр

Рисунок 2.1 – Структурна схема БДЖ типу On-line

У мережевому режимі роботи, живлення навантаження здійснюватиметься по ланцюгу «МЕРЕЖА-ВЛР1-Ф1-ППН1-Ф3-ІНВ-Ф4-НАВАНТАЖЕННЯ». Паралельно відбуватиметься зарядка АБ і надалі батарея перебуватиме в режимі очікування. У цій схемі буде застосований трирівневий інвертор, оскільки він забезпечує синусоїду вихідної напруги, максимально

наближену до ідеальної.

У разі втрати напруги живлення, інвертор починає працювати в аварійному режимі. Основний ланцюг живлення при цьому знеструмлюється. Автоматично, без розриву живильної синусоїди, відбувається перемикання на аварійне живлення від акумуляторної батареї, що знаходиться в режимі очікування. Ланцюг живлення виглядатиме так: «АБ-Ф3-ІНВ-Ф4-НАВАНТАЖЕННЯ». За рахунок особливостей використовуваного інвертора підключення батарей відбувається послідовно-паралельно по відношенню один до одного.

Запропонований спосіб підключення дозволяє кожен напівперіод жити окремий міст інвертора.

БДЖ, що забезпечують безперервне живлення різноманітних пристроїв (серверів, ПК, модемів тощо) стабілізованою напругою 220В, 50Гц, мають імпульсні джерела живлення. Імпульсні джерела живлення здатні працювати в мережі з відхиленнями напруги $\pm 20\%$ від номінального значення, і ще однією перевагою є здатність їхньої роботи від мережі, що має не синусоїдальну форму напруги (апроксимована синусоїда, квазісинусоїда).

2.2 Основні функціональні елементи джерела безперебійного живлення

Розглянемо основні функціональні елементи і принцип їхньої роботи, які входять до складу БДЖ.

Основні функціональні елементи БДЖ:

- інвертор;
- випрямляч;
- коректор коефіцієнта потужності;
- трансформатор;
- система автоматичного керування.

2.2.1 Принцип роботи інвертора

Під інвертуванням розуміється перетворення постійного струму в змінний. Сутність інвертування полягає в тому, що первинна обмотка трансформатора по черзі під'єднується до мережі постійного струму з протилежною полярністю. При цьому на обмотках трансформатора з'являється змінна напруга прямокутної, трапецеїдальної, ступінчастої або синусоїдальної форми. Пристрої, які здійснюють таке перетворення, отримали назву інверторів.

Найширше застосування в БДЖ як силові перемикальні елементи отримали транзистори. Енергетично вигідно, щоб транзистори працювали в режимі перемикачів, стрибкоподібно змінюючи полярність перемикачів, стрибкоподібно змінюючи полярність напруги на первинній обмотці трансформатора. У цьому разі втрати потужності в транзисторах будуть найменшими, а ККД інвертора – найбільшим.

2.2.2 Формування вихідної напруги та струму

Форма вихідної напруги або струму інвертора, іншими словами кількість гармонік у нарузі або струмі, мають бути визначені під час розроблення дуже ретельно. Отримання на виході напруги (струму), близької до синусоїдальної, є важливим завданням, оскільки інакше погіршується коефіцієнт потужності, зростають електромагнітні завади та шуми як на силових виводах, так і в колах керування. Безліч навантажень, таких, наприклад, як електромеханічні датчики, вимагають синусоїдальності напруги. Тим більше від інвертора потрібна синусоїдальна напруга, якщо він входить до складу джерела безперебійного живлення, і його вихідна напруга має в якісь проміжки часу замінити мережу змінного струму.

Складність цього питання полягає в тому, що поліпшити якість вихідної напруги тільки постановкою LC -фільтра може виявитися неможливим або не вигідним. Зокрема, прагнучи зменшити небажані гармоніки на виході, збільшуючи L і C фільтра, відбувається неминуче зниження амплітуди (першої)

основної гармоніки.

З цих причин в інверторах застосовуються активні методи зниження гармонік, які поєднуються з постановкою фільтрів, тобто пасивними методами.

Для отримання напруги, наближеної до синусоїди, застосовують ШІМ або АІМ, які технічно можуть виконуватися різними способами.

Критерієм оцінки синусоїдальності кривої вважатимемо коефіцієнт гармонік $K_{гф}$, який отримуємо на виході фільтра, під'єданого до імпульсної напруги інвертора.

Нехай $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – власна частота фільтра, а ω_1 – перша гармоніка напруги на виході інвертора. Відношення двох названих частот назвемо ω_0 – параметр, що характеризує фільтр

$$\omega_* = \omega_1 / \omega_0 = \omega_1 \sqrt{LC} . \quad (2.1)$$

Без урахування навантаження, вважаючи, що комплексний опір вихідного конденсатора фільтра багато менший за опір навантаження, отримаємо передавальну функцію LC -фільтра

$$W(s) = \frac{U_{\text{вих}}(s)}{U_{\text{вх}}(s)} = \frac{1/(sC)}{sL + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{s^2 LC + 1} ,$$

зробивши заміну $s=j\omega$ (тут ω – поточна частота), визначимо амплітудно-фазову характеристику фільтра

$$W(j\omega) = \frac{1}{1 - \omega^2 LC} . \quad (2.2)$$

Сенс виразу (2.2) полягає в тому, що при частоті $\omega = \omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ відношення амплітуди напруги на виході до амплітуди напруги на вході фільтра наближається до нескінченності (ми знехтували навантаженням

фільтра). Крім того, за всіх частот у спектрі імпульсно вихідної напруги більших, ніж перша (основна), модуль $W(j\omega)$ зменшується, що свідчить про придушення будь-якої гармоніки напруги, вищої за першу. Швидкість зниження модуля $W(j\omega)$, якщо виражати його в децибелах, дорівнює -40 дБ/дек. Знак мінус, одержуваний у правій частині (2.2) за всіх $\omega > \omega_0$, свідчить про те, що вихідна напруга перебуває суворо у протифазі з вхідною (це знову є наслідком нехтування навантаженням інвертора).

Позначимо модуль $W(j\omega)$ як k_{Un} – коефіцієнт передачі фільтра за напругою n -ої гармоніки.

Тоді:

$$k_{Un} = |W(j\omega)| = \frac{1}{\omega^2 LC - 1} = \frac{1}{n^2 \omega^2 - 1}. \quad (2.3)$$

Умовно приймається, що для першої гармоніки коефіцієнт передачі фільтра k_{U1} в (2.3) дорівнює одиниці.

Підставимо k_{Un} з (2.3) у вираз для коефіцієнта гармонік. У результаті отримаємо:

$$K_{\Gamma\Phi} = \sqrt[100]{\sum_{n=n_{\min}}^{n_{\infty}} \left(\frac{U_n}{n^2 \omega_*^2 - 1} \right)^2 \frac{1}{U_1^2}}, \quad (2.4)$$

де U_1 та U_n – амплітуди першої та n -ої гармонік напруг на вході фільтра.

Фільтр матиме найменший обсяг за мінімального значення ω^* , що впливає з (2.1). Задане значення $K_{\Gamma\Phi}$ легше забезпечується фільтром мінімального об'єму (ω^* мінімально), якщо в спектрі напруги на вході фільтра не просто відсутні кілька довільних гармонік, тобто деякі U_n дорівнюють нулю, а відсутні найнижчі гармоніки, які фільтр послаблює найважче. У цьому полягає сенс співвідношення (2.4).

2.2.3 Широтно-імпульсна модуляція

Почнемо розгляд ШІМ з одноразової модуляції, коли на напівперіоді вихідної напруги розташовується тільки один імпульс (рис. 2.2).

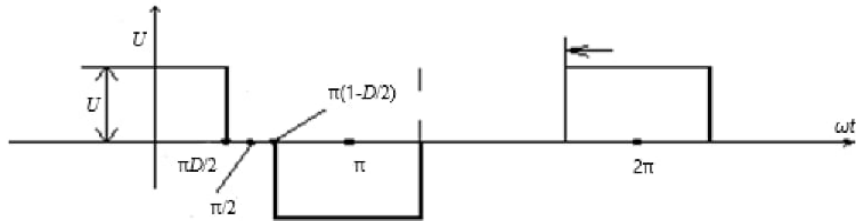


Рисунок 2.1 – ШІМ з одноразовою модуляцією

Функція $u(\omega t)$ на цьому рис. представлена у вигляді парної ($u(\omega t) = u(-\omega t)$), крім того, існує симетрія даної функції відносно осі ωt . Отже, у спектрі напруги повинні бути відсутніми парні гармоніки, а коефіцієнти ряду Фур'є, що визначають амплітуди і фази гармонік, знаходяться зі співвідношення:

$$U_n = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} u(\omega t) \cos n\omega t d\omega t, \quad (2.5)$$

де $n=1,3,5,\dots$ – номер гармоніки;

$\omega = 2\pi/T$ – кругова частота основної (першої) гармоніки.

Із (2.5) для імпульсної напруги, показаної на рис. 2.2, отримаємо:

$$U_n = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} u(\omega t) \cos n\omega t d\omega t = \frac{4U}{\pi n} \sin n \frac{\pi D}{2}. \quad (2.6)$$

Функція $u(\omega t)$, наведена на рис. 2.2, замінюється тригонометричною сумою:

$$u(\omega t) = u_1 \cos \omega t + u_3 \cos 3\omega t + \dots + u_n \cos n\omega t,$$

де u_1, u_3, \dots, u_n – коефіцієнти, що мають позитивний або негативний знак, визначаються відповідно з (2.6).

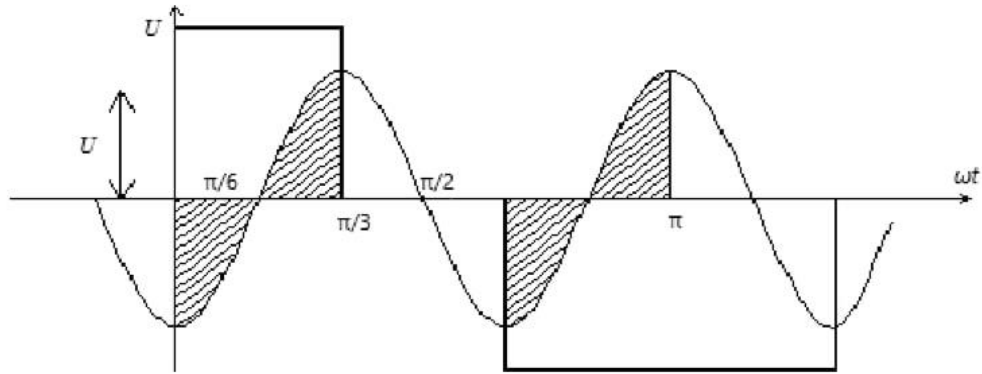
Для виключення третьої гармоніки тривалість половини імпульсу в кутових одиницях згідно з (2.6) має дорівнювати:

$$\frac{\pi D}{2} = \pi / 3 \quad (2.7)$$

П'ята гармоніка буде відсутня, якщо має місце рівність

$$\frac{\pi D}{2} = \pi / 5 \quad (2.8)$$

Очевидно, що одночасне виключення третьої та п'ятої гармонік у кривій (рис. 2.1) неможливе за будь-яких кутів $\pi D/2$. Можна графічно показати, яким чином відбувається виключення тієї чи іншої гармоніки зі спектра імпульсної напруги $u(\omega t)$. Для цього достатньо помітити, що саме показує загальний вираз (2.5) у разі імпульсної напруги $u(\omega t)$, що має парність функції та симетрію щодо ωt . Інтеграл у (2.6) показує сумарну площу за чверть періоду тих ділянок кривої n -ої гармоніки, які відповідають ненульовим значенням імпульсної напруги. Наприклад, функція $u_3 \cos 3\omega t$ при імпульсній напрузі (2.5) і значенні (2.7) звертається в нуль. При цьому значенні $\pi D/2$ усі гармоніки кратні трьом дорівнюють нулю. Підтвердження цьому показано на рис. 2.2, де можна побачити рівність додатної (подвійне штрихування) і від'ємної площ косинусної функції на інтервалі, де $u(\omega t)$ не дорівнює нулю. Якщо на рис. 2.3 показати п'яту гармоніку $u_5 \cos \omega t$, а u_5 визначити з (2.5), можна побачити, що сума позитивних і негативних площ на інтервалі $0 \dots \pi/3$ не дорівнює нулю.

Рисунок 2.3 – Функція $\cos\omega t$

Рівність додатної та від'ємної площ функції – $\cos\omega t$ на інтервалі $0 \dots \pi/3$ (рис. 2.2) показує, що третя гармоніка виключається з ряду Фур'є.

2.2.4 Коректор коефіцієнта потужності

Розглянемо блок-схему найпростішого типового коректора коефіцієнта потужності, наведену на рис. 2.4.

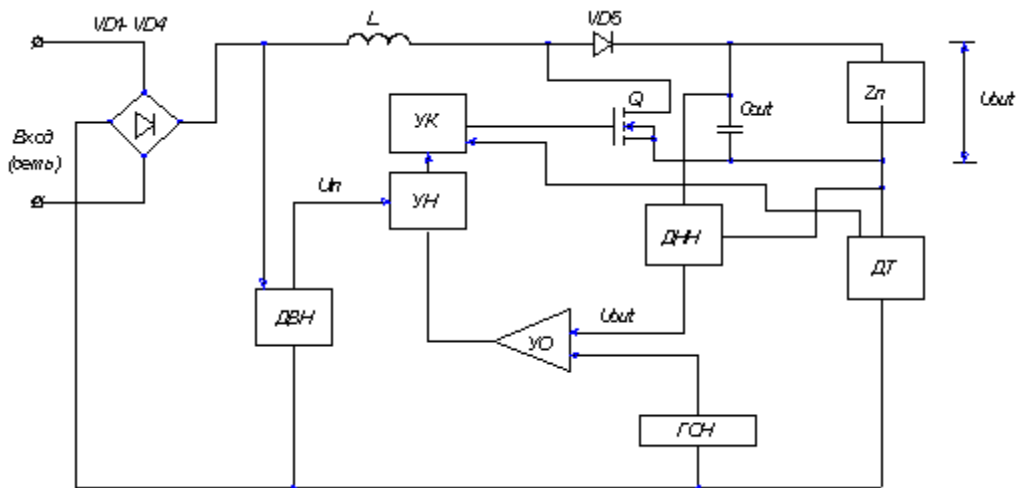


Рисунок 2.4 – Функціональна схема коректора коефіцієнта потужності

У цій схемі, крім виконання функції корекції PF, додатково здійснюється стабілізація вихідної напруги. Вхідна напруга змінного струму 220 В 50 Гц подається на діодний міст VD1 ... VD4, але далі, після випрямлення, у класичному випадку має бути фільтрувальний конденсатор, а тут його

замінюють на бустерну схему, що складається з дроселя L , блокувального діода $VD5$, ключового транзистора VT , вихідного конденсатора C_{out} і схеми керування коректором.

Вхідна напруга коректора U_{in} , випрямлене діодним мостом, являє собою однополярні половинки.

Ця напруга контролюється датчиком вхідної напруги (ДН). Коли транзистор VT переводиться схемою керування в провідний стан, струм в індуктивності L починає лінійно наростати.

Величина вхідного струму I_{in} фіксується датчиком струму (ДС) і перетворюється в напругу U_{in} , пропорційне величині струму I_{in} . Величина індуктивності L вибирається такою, щоб наростання (і спад) струму в ній відбувалося значно швидше наростання (і спаду) вхідної напруги. Коли величина напруги, що знімається з ДС, порівнюється з величиною напруги, що виробляється датчиком вхідної напруги (ДВН), керівний каскад (КК) схеми управління закриває транзистор VT і відбувається спад струму в первинному ланцюзі до нульового значення.

Зазначимо, що в цей момент струм протікає через діод $VD5$ і конденсатор C_{out} . Момент падіння струму в первинному ланцюзі до нуля слугує сигналом для керуючого каскаду на відкриття транзистора VT , і процес повторюється.

Описаний нескладний метод корекції коефіцієнта потужності має і деякі недоліки. Якщо вхідна напруга U_{in} , змінюватиметься, що на практиці й відбувається через нестабільність мережевої напруги, зміниться середній струм через навантаження (через зміну миттєвих значень імпульсів струму I_{in1} , I_{in2} , I_{in3}), отже, і зміниться вихідна напруга U_{out} . Зміна опору навантаження Z_n також змінюватиме вихідну напругу, оскільки спад індуктивного струму в елементі L відбуватиметься повільніше або швидше.

Зображений на схемі рис. 2.5 датчик напруги навантаження Z_n разом з підсилювачем помилки (ПП) є системою, що відстежує вихідну напругу коректора.

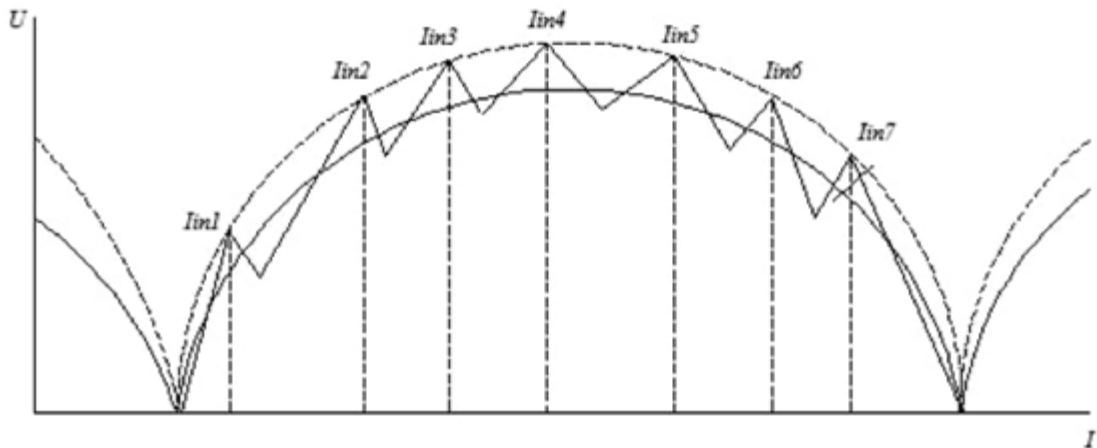


Рисунок 2.5 – Робота активного коректора коефіцієнта потужності в умовах безперервності струму дроселя

З виходу датчика знімається напруга, пропорційна напрузі навантаження U_{out} . Помножувач напруги (ПН) перемножує сигнали U_{in} і U_{out} з необхідним коефіцієнтом пропорційності. Отриманий вихідний сигнал з ПН керує транзистором VT. Таким чином, у цій схемі можна «зрушувати» поріг перемикання транзистора VT, підтримуючи постійну напругу на навантаженні.

2.3 Система автоматичного керування джерелом безперебійного живлення

Структурну схему САК представлено на рис. 2.6.

Датчики відстежують значення напруги і струму в схемі та надсилають відповідну інформацію на блок мікропроцесора (МП). МП керує драйверами силових ключів, а також пристроями індикації та інтерфейсом підключення до ПК. Драйвери та блок МП живиться від джерела живлення власних потреб, вихідні напруги якого становлять +5 В, +18 В, ±24 В.



Рисунок 2.6 – Структурна схема системи автоматичного керування

Для керування IGBT модулями потрібен драйвер, функції якого:

- а) забезпечують увімкнення транзистора низьким рівнем ТТЛ із системи керування з частотою перемикання до 20 кГц;
- б) забезпечують на затворі транзистора:
 - 1) відмикаючу напругу +17 В, затримка увімкнення 1 мкс, час наростання напруги 0,4 мкс;
 - 2) замикаючу напругу -5 В, затримка вимкнення 0,4 мкс, час спаду напруги 0,2 мкс;
- в) забезпечують захист транзистора від пробоя:
 - 1) у разі перевантаження за струмом або короткого замикання в навантаженні, що визначається за ненасиченим станом транзистора, шляхом плавного його замикання. Затримка спрацьовування захисту 3 мкс, затримка початку вимкнення 4,5 мкс, час спаду напруги близько 8 мкс;
 - 2) при викиді напруги на колекторі вище 1000 В;
 - 3) обмежують напругу між базою та емітером транзистора на рівнях +18 В і -6 В.

Передають у систему управління сигнал про аварійне вимкнення транзистора і про небезпечне зниження напруги живлення драйвера. Схема захисту скидається низьким рівнем ТТЛ із системи керування. Знак вихідної напруги драйверів індикуюється світлодіодом на платі драйвера (або адаптера), зеленим кольором для позитивної напруги і червоним – для негативної.

Вхідні та вихідні сигнали надходять через оптопару, що забезпечують ізоляцію за різниці потенціалів вхідного та вихідного ланцюгів драйвера до 2500 В. До системи керування драйвер під'єднують через вилку типу WF-6, кабельна розетка типу HU-6.

Перемінна напруга живлення через роз'єм X2, трансформатор T1 надходить на випрямляч RECT1. Компаратор COMP1 за нормальної випрямленої напруги підтримує на виході оптопару низький рівень сигналу PC. За високого рівня сигналу IN на виході оптопару F1 рівень високий. При цьому ввімкнено генератор струму GT2, а генератори струму GT1, GT3 вимкнено, напруга на конденсаторі C2 негативна, і через буферний підсилювач A1 і вихідні каскади драйвера (двотактний емітерний повторювач V3, V4) вона надходить на затвор G модуля. Відкритий ключ KL4 підтримує негативну напругу на вході компаратора COMP3. За низького рівня сигналу IN генератор струму GT2 вимикається, а GT1, GT3 вмикаються. Конденсатор C2 швидко заряджається, позитивна напруга через буферний підсилювач A1 і вихідні каскади драйвера відкриває транзистор модуля. Баластне ємнісне навантаження на виході драйвера, конденсатор C6, нівелює крутизну фронтів вихідних імпульсів за різної вхідної ємності модулів і запобігає високочастотному дзвону. Діоди V6, V7 обрізають викиди напруги на затворі, які можуть виникнути в процесі перемикання модуля. Захисний ланцюжок R7, V9, V10 захищає модуль від високовольтних викидів на колекторі, що виникають під час замикання транзистора, відкриваючи транзистор на час викиду. Світлодіод V8 – двоколірний. Якщо модуль нормально навантажений, напруга на його колекторі стає низькою, і струм генератора струму GT3 протікає через R4 і V5, а напруга на конденсаторі C3 залишається нижчою за поріг спрацьовування

компаратора COMP3. У разі перевантаження модуля напруга на С3 через деякий час перевищує поріг, імпульс із виходу COMP3 вмикає тригер, виконаний на компараторі COMP2 з позитивним зворотним зв'язком. Ключі KL1 і KL3 замикаються і вимикають генератори струму GT1 і GT3, після чого конденсатор С2 плавно розряджається через резистор R1, унаслідок чого транзистор модуля вимикається м'яко, що краще, ніж різке замикання в режимі короткого замикання. Оптопара F2 вмикає низький рівень сигналу FAULT. Вихід драйвера зі стану захисту здійснюється низьким рівнем сигналу RES, який вмикає оптопару F4 і повертає тригер у вихідний стан. Живлення вихідних кіл драйверів здійснюється симетричною прямокутною напругою з амплітудою 12 В і з частотою 40 кГц, яка подається на первинну обмотку ізолювального трансформатора з блока живлення через вилку типу WF-2, кабельна розетка типу НУ-2. Як блок живлення може використовуватися плата ДЖИЦ.301411.107. Змінна напруга із вторинної обмотки перетворюється на постійні напруги +6 В, +18 В і -6 В.

Для керування оптотиристорами візьмемо драйвер, структурну схему якого представлено на рис. 2.7.

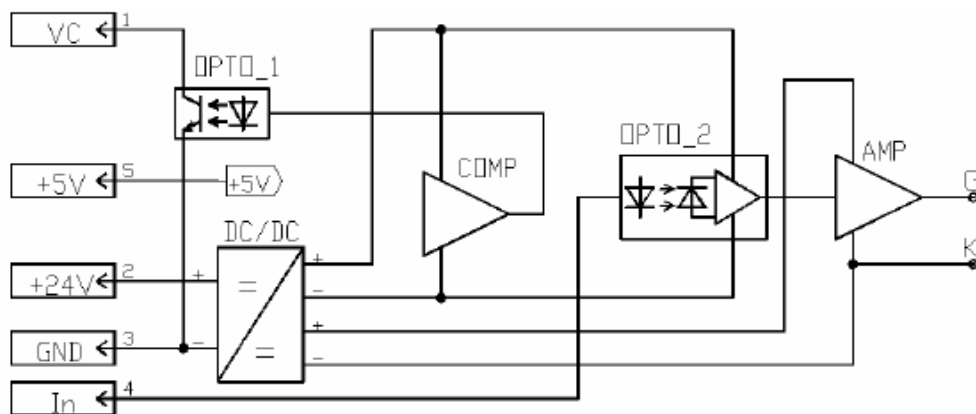


Рисунок 2.7 – Схема драйвера

Вихідні каскади драйверів живляться постійною стабілізованою напругою +24 В, яка конвертується перетворювачем DC/DC у змінну з частотою 40 кГц і трансформується, а потім випрямляється. Контроль напруги

живлення драйвера на вторинній стороні здійснюється компаратором COMP, контрольний сигнал передають у систему керування через ОРТО_1. У нормі рівень сигналу VC низький, а по оптоволокну передається світловий сигнал. Увімкнення струму керування здійснюється низьким рівнем сигналу In або світловим сигналом по оптоволокну, що подається на ОРТО_2. Вихідний сигнал оптоперетворювача ОРТО_2 підсилюється підсилювачем потужності АМР і прикладається між катодом К і керуючим електродом G тиристора.

Велике значення в БДЖ має наявність зв'язку з ПК. Це дає змогу оператору стежити за станом мережі, станом АБ і всієї роботи БДЖ. У цьому разі використовується стандартний інтерфейс зв'язку МК та ПК – RS-232. Це дає змогу здійснювати дистанційний моніторинг БДЖ. Інтерфейс виконано з оптоізоляцією, що збільшує електробезпеку під час роботи з БДЖ.

2.4 Висновки до розділу

У другому розділі були розраховані всі функціональні елементи, що входять до складу БДЖ, такі як: згладжуючі фільтри, некеровані випрямлячі, інвертор, перетворювачі постійної напруги тощо. Для кожного силового елемента БДЖ була обрана конкретна модель, комплектуючі якої у вільному доступі існують ринку та повністю відповідають за своїми технічними характеристиками необхідним умовам. Розроблено структурну схему БДЖ з розглядом функціоналу кожного елемента на ній.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ БЕЗПЕРБІЙНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

3.1 Опис імітаційної моделі

Для більш детальної роботи САК було створено імітаційну модель БДЖ, виконану в системі комп'ютерного моделювання Matlab і розглядає два режими роботи: мережевий та аварійний (рис. 3.1).

Блок AC Voltage Source є джерелом мережевої змінної напруги. Як некеровані випрямлячі, B1 і B2, скористаємося двома блоками Universal bridge відповідно. У вікні параметрів блоку вибираємо однофазну мостову схему випрямлення.

Після випрямлячів, і в мережевому режимі, і для зарядного пристрою, встановлено Г-подібні LC-фільтри. Для їхньої побудови скористаємося елементом Load, у вікні параметрів якого обирається індуктивність або ємність, параметри яких розраховані раніше.

Перетворювачі постійної напруги (ППН) реалізовано блоками Subsystem IPRT1 і Subsystem IPRT2, структура яких представлена на рис. 3.2. Кожен елемент у схемі налаштовуємо згідно з розрахованими вище параметрами.

Керування імпульсними перетворювачами постійної напруги здійснюється за допомогою блоків Control IPRT1 і Control IPRT2, представленими на рис. 3.3. Роботу запропонованого блока системи керування засновано на статичній помилці, яка визначається порівнянням заданої напруги та напругою на виході ППН1 і ППН2. Для формування сигналу, пропорційного сигналу $I \cdot \sin$, що задається, використовується PID Controller 1. PID Controller 2 необхідний для формування сигналів, які надходять на базу IGBT, що входить до складу імпульсного перетворювача постійної напруги.

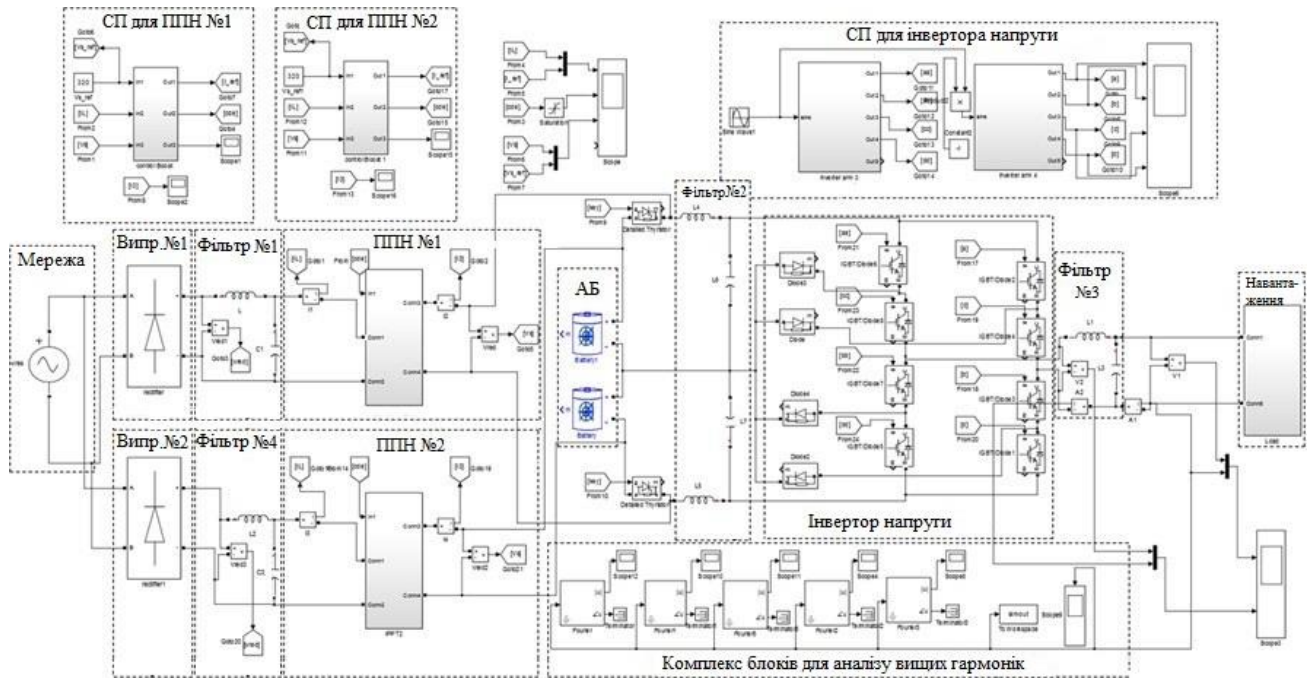
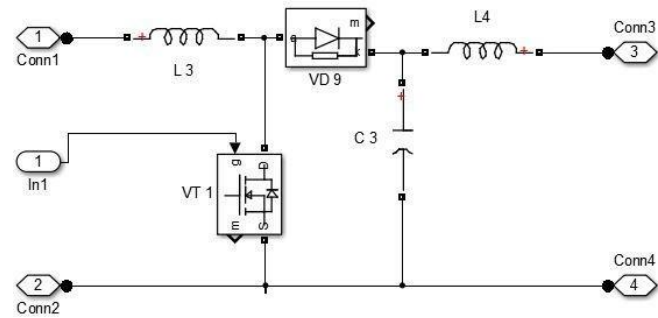
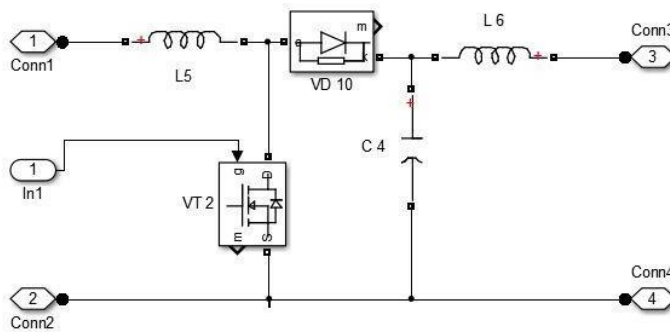


Рисунок 3.1– Імітаційна модель БДЖ у середовищі Matlab Simulink



а)



б)

а) ППН1; б) ППН2

Рисунок 3.2 – Внутрішня структура підсистем ППН

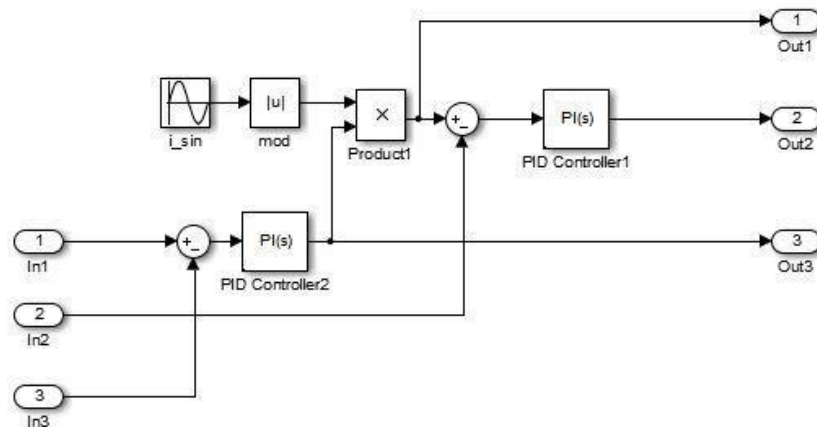


Рисунок 3.3 – Внутрішня структура підсистем САК для ППН1 та ППН2

На вході інвертора встановлено Г-подібний фільтр, реалізований на елементах Load. він складається з двох плечей, для забезпечення середньої точки інвертора. налаштування елементів виконується за параметрами елементів розрахованих вище.

Далі розміщено трирівневий інвертор напруги, показаний на рис. 3.4 він складається з чотирьох діодів і восьми транзисторів, що мають вбудовані зворотні діоди. їхні параметри налаштовуємо згідно з розрахованими раніше значеннями.

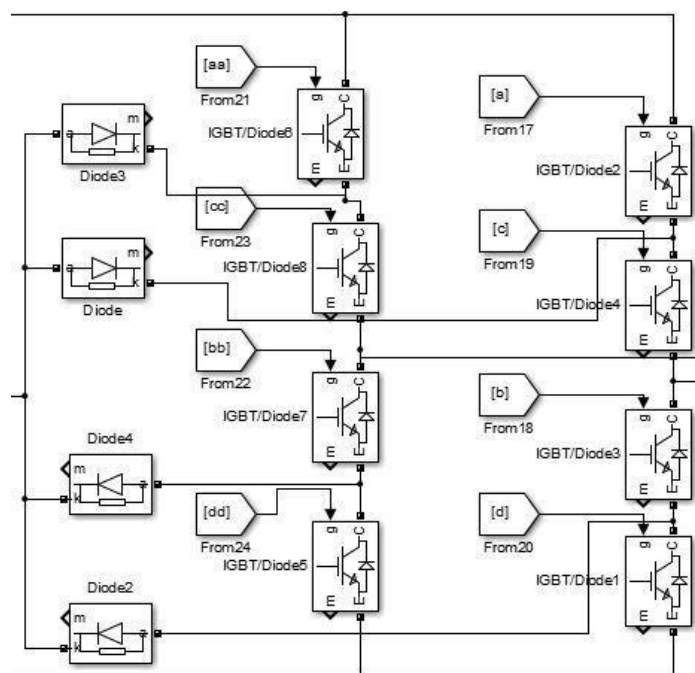


Рисунок 3.4 – Модель трирівневого інвертора із середньою точкою

За допомогою САК, реалізованої двома підсистемами subsystem inverter arm 1 і subsystem inverter arm 2, в інверторі напруги відбувається перетворення постійної напруги на змінну. Внутрішню структуру підсистем subsystem inverter arm наведено на рис. 3.5.

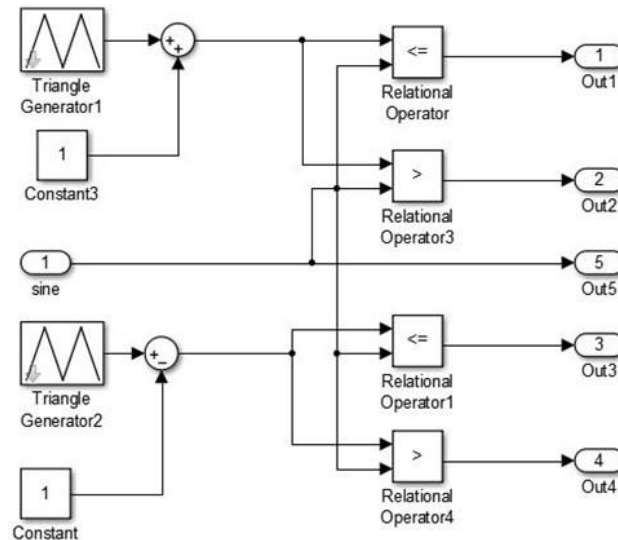


Рисунок 3.5 – Внутрішня структура підсистем subsystem inverter arm

Другий блок аналогічний першому. Ці блоки необхідні для здійснення ШІМ у кожному плечі інвертора напруги.

Для реалізації керуючих сигналів у кожному плечі інвертора, використані блоки синусоїда і трикутний сигнал. для формування кожної напівхвилі синусоїди використовується пілкоподібний сигнал з певною полярністю. Після проходження блоків рівняння, створюється 4 вихідних сигнали, які й забезпечують роботу одного плеча інвертора. друге плече працює за тим самим принципом, але використовується в ньому синусоїда зсунута за фазою на 180° .

Після інвертора встановлено Г-подібний фільтр. реалізація і схема його елементів аналогічна фільтрам.

Як навантаження, що змінюється, застосовується підсистема subsystem load, представлена на рис. 3.6.

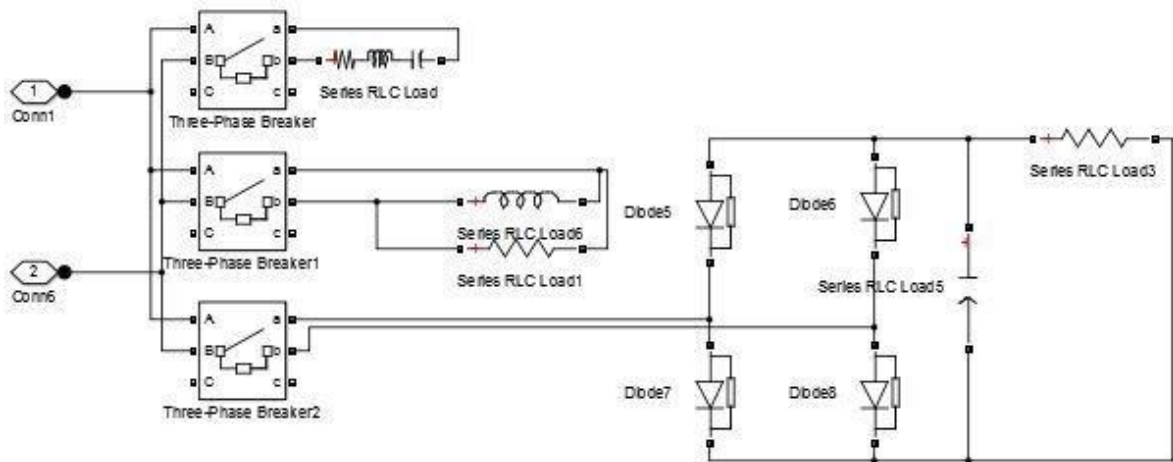


Рисунок 3.6 – Блок subsystem load

Моделювання роботи БДЖ здійснюється для двох режимів: мережевий і аварійний. Згідно з технічним завданням застосовуємо таке навантаження:

- незмінне активно-індуктивне навантаження, 10 кВА;
- активно-індуктивне навантаження, що підключається, 2 кВА;
- під'єднане випрямне навантаження, 2 кВА.

Комутаційні пристрої, реалізовані за допомогою блоків breaker, забезпечують увімкнення та вимкнення навантаження. вони забезпечують комутацію в заданий час, тим самим виконуючи накидання навантаження.

Опис роботи моделі БДЖ у мережевому режимі: коли БДЖ працює в мережевому режимі, живлення надходить від джерела змінної напруги з амплітудним значенням напруги 310 В. Зарядний пристрій, до складу якого входить: В2, Ф4, ППН2, виконує заряд акумуляторної батареї, що перебувають у відключеному стані, за допомогою тиристорів, від ланцюга живлення навантаження.

Живлення навантаження виконується через некерований ВПР1, Ф1 і ППН1, який забезпечує регулювання напруги на ділянці постійного струму. випрямлена напруга надходить на вхідний Ф2 інвертора, згладжується і надходить на трирівневий інвертор, після чого відбувається формування змінної напруги. через вихідний Ф3 напруга знову згладжується і надходить безпосередньо до навантаження.

Опис роботи моделі БДЖ в аварійному режимі: імітація аварійного режиму забезпечується вимкненням живильної напруги, приймаючи напруги джерела змінної напруги 0 В. При цьому зарядний пристрій знеструмлюється, і живлення навантаження здійснюється від акумуляторної батареї, які включаються в ланцюг живлення навантаження миттєвим відкриттям тиристорів. діод VD10, який входить до складу ППН2, розриває контур, забезпечуючи запобігання розряду батареї і витоку струму в мережу.

3.2 Гармонійний аналіз вихідного струму за різних видів навантаження

Живлення електроустановок категорії відповідальних споживачів від електричної мережі, яка може забезпечувати роботу від двадцяти і більше ПК, супроводжується вмістом у струмі значної кількості вищих гармонік порівняно з промисловою мережею з частотою 50 Гц.

На сьогодні в промисловості виділяють види обладнання, яке здатне відчутно генерувати вищі гармоніки в електричну мережу:

- ПК і комп'ютерні мережі;
- електрозварювальні комплекси;
- статичні перетворювачі енергії (тиристорні регулятори напруги, випрямлячі, імпульсні джерела живлення тощо)
- електродугові та індукційні печі;
- електродвигуни змінного струму, з можливістю регулювання напруги;
- безліч електроосвітлювальних приладів, побудованих на газорозрядних лампах і електронних баластах;
- пристрої для плавного пуску двигуна тощо.

Під час під'єднання в мережу ПК у такій кількості, що їхня сумарна потужність виявляється порівнянною з потужністю електричної мережі, відбувається спотворення синусоїди електричної мережі. Пов'язано це з перевантаженням живильної мережі нелінійними навантаженнями, що

призводить до відхилень і збоїв від нормальної роботи особливо чутливого обладнання, до яких належить локальна обчислювальна мережа.

Ознакою того, що мережа перевантажена великою кількістю нелінійних навантажень, є наявність у ній третьої гармоніки, яка чинить найінтенсивніший вплив на навантаження [11].

Наявність великої кількості нелінійних споживачів у мережі сприяє генерації вищих гармонійних складових, а це, своєю чергою, призводить до негативних наслідків для навантаження:

- на частотах вищих гармонік є ймовірність виникнення резонансних явищ, що часто призводить до виходу з ладу як окремих елементів, так і цілих збірок системи;

- виникнення перешкод у лініях зв'язку;

- у системах електроживлення із заземленою нейтраллю, третя гармоніка і гармоніки кратні 3, вимагають збільшення перетину нульових провідників. Це пояснюється збільшенням значення струмів у нульовому провіднику, на відміну від фазних, що призводить до перегріву з подальшим руйнуванням ізоляції;

- вищі гармоніки супроводжуються додатковими втратами в трансформаторах, що тягнуть за собою його перегрів, і, як наслідок, призводять до виходу з ладу;

- наявність гармонік призводить до перегріву і виходу з ладу електродвигунів, конденсаторів, баластних люмінесцентних світильників;

- відбувається старіння ізоляції, що істотно скорочує термін експлуатації кабельних ліній;

- високочастотні перешкоди призводять до збоїв у роботі систем управління і нестабільної роботи чутливого електронного обладнання.

У розробленій імітаційній моделі БДЖ, наведеній на рис. 3.1, для дослідження гармонійного складу вихідного струму в моделювальному середовищі Matlab використовується блок Powergui.

Для моделювання навантаження використовується підсистема Load, представлена на рис. 3.6. Згідно з технічним завданням $S=10$ кВА, БДЖ постійно навантажений 80 % навантаженням, через 0,2 секунди відбувається скидання інших 20 % навантаження $S=2$ кВА.

Для гармонійного аналізу, після закінчення процесу моделювання роботи БДЖ із заданим проміжком часу, використовується модуль FFT Analysis, який входить до складу блоку Powergui. Далі здійснюється налаштування у вікні Powergui FFT Tools (перетворення в ряд Фур'є). Частота основної гармоніки дорівнює 50 Гц. Вибирається кількість періодів і вид сигналу. Зверху, у вікні Signal to analyze, відображається вхідний сигнал із заданим проміжком часу. Починаючи з часу 0,2 секунди, тривалістю в один період коливання, відображається гармонійний склад струму.

3.3 Робота безперервного джерела живлення у режимі живлення від мережі

Під час моделювання роботи БДЖ від мережі, використовується блок AC Voltage Source, внутрішній опір якого прагне до нескінченності. Тому при збільшенні навантаження забезпечується стабільна напруга мережі.

У реальній же мережі буде спостерігатися просадка напруги, яка обумовлена внутрішнім опором джерела. Через це результати моделювання та реальної роботи БДЖ можуть значно відрізнятись.

Дослідження роботи моделі БДЖ на активно-індуктивне навантаження: у процесі моделювання роботи БДЖ через 0,2 секунди відбувається комутація ключів і додається активно-індуктивне навантаження, що становить 20 % від номінальної потужності, яка дорівнює 10 кВА. Отримані осцилограми напруги та струму подано на рис. 3.7 и 3.8.

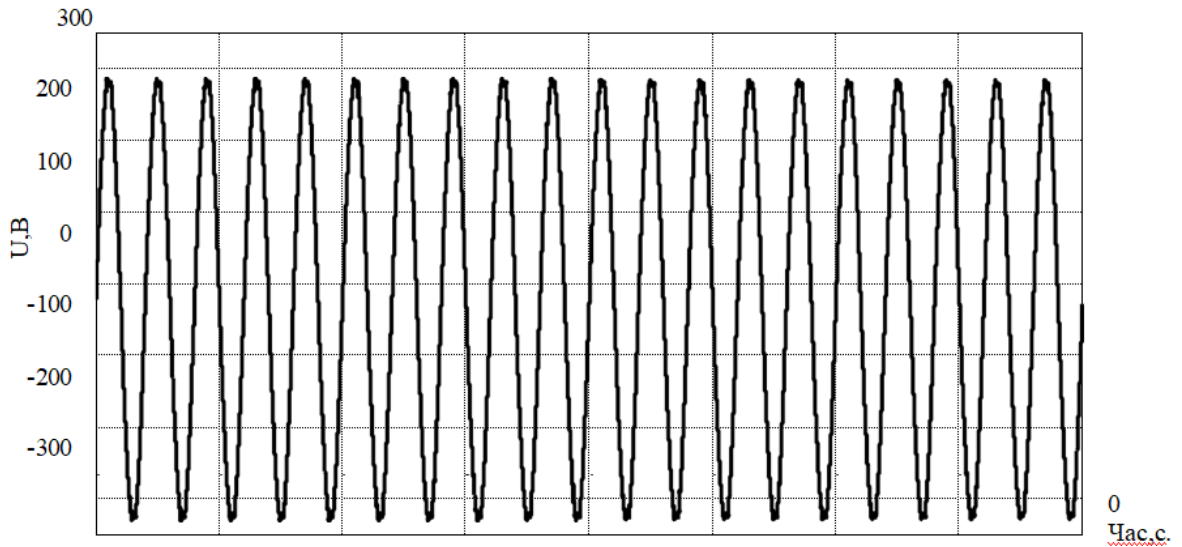


Рисунок 3.7 – Осцилограма напруги при додаванні активно-індуктивного навантаження

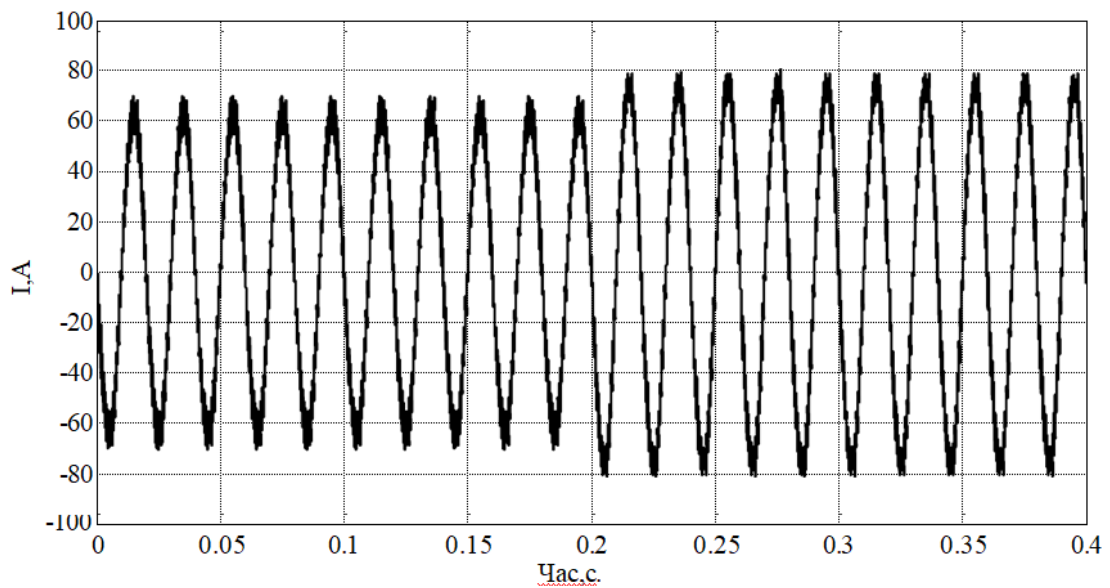


Рисунок 3.8 – Осцилограма струму під час додавання активно-індуктивного навантаження

Аналіз вищих гармонік: на рис. 3.9, отриманому за допомогою функції FFT Analysis, представлено гармонійний склад вихідного струму при активно-індуктивному навантаженні.

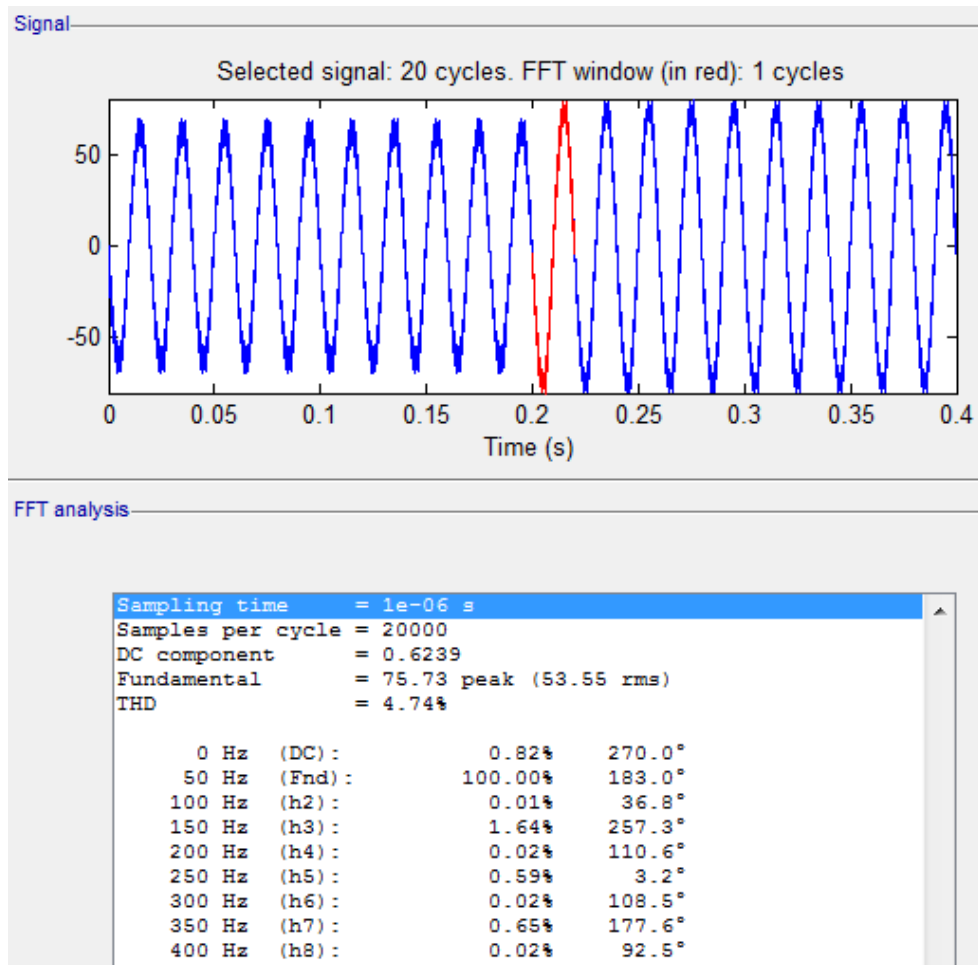


Рисунок 3.9 – Гармонійний склад вихідного струму за активно-індуктивного навантаження

Синусоїда струму досліджувалася для одного періоду коливання - після накидання навантаження в момент часу 0,2 секунди.

Проаналізувавши результат розкладання струму в ряд Фур'є, представлений на рис. 3.9, робимо висновок, що параметри вхідних і вихідних фільтрів підбрано правильно, а значення вищих гармонік не перевищують допустимих значень.

Дослідження роботи моделі БДЖ на випрямне навантаження: на рис. 3.10 – 3.11 представлено отримані в результаті моделювання осцилограми напруги та струму під час додавання випрямного навантаження. Під час під'єднання додаткового навантаження напруга залишається практично незмінною, а струм помітно зростає. За такого виду навантаження спотворення

синусоїди струму набувають більших значень, порівняно з попереднім типом навантаження.

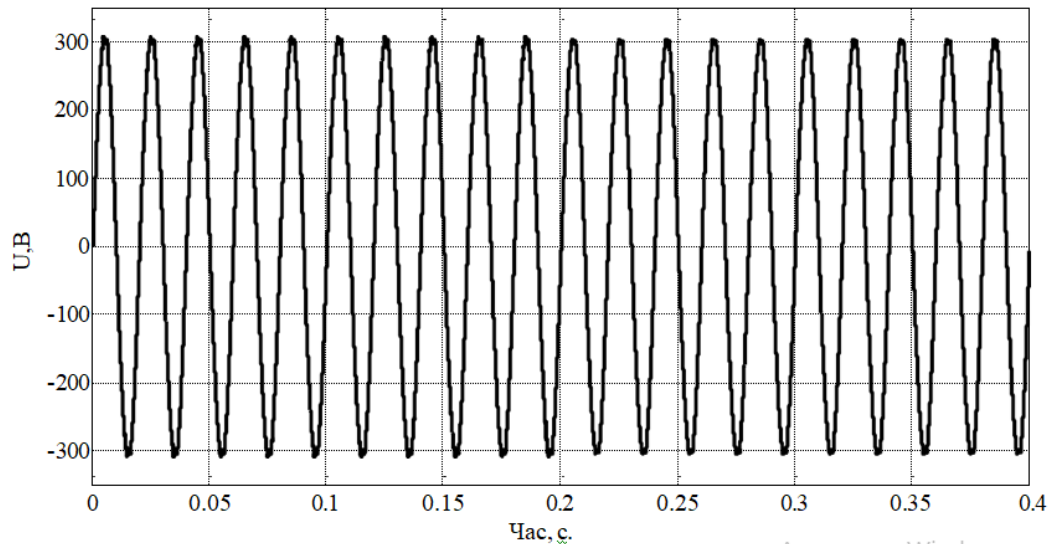


Рисунок 3.10 – Осцилограма напруги під час додавання випрямного навантаження

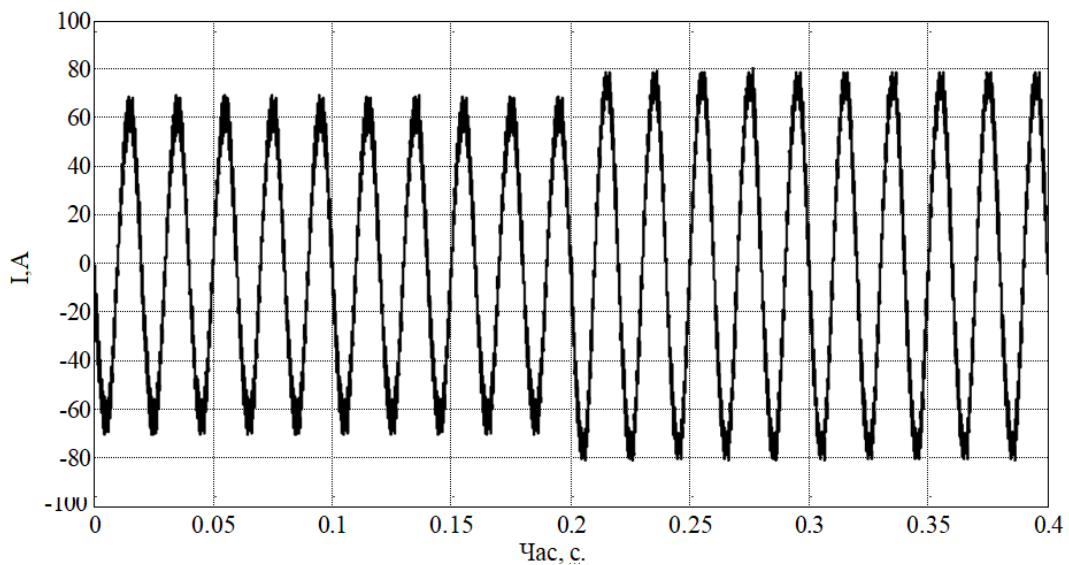


Рисунок 3.11 – Осцилограма струму під час додавання випрямного навантаження

Аналіз вищих гармонік: на рис. 3.12, отриманому за допомогою функції FFT Analysis, представлено гармонійний склад вихідного струму під час випрямного навантаження.

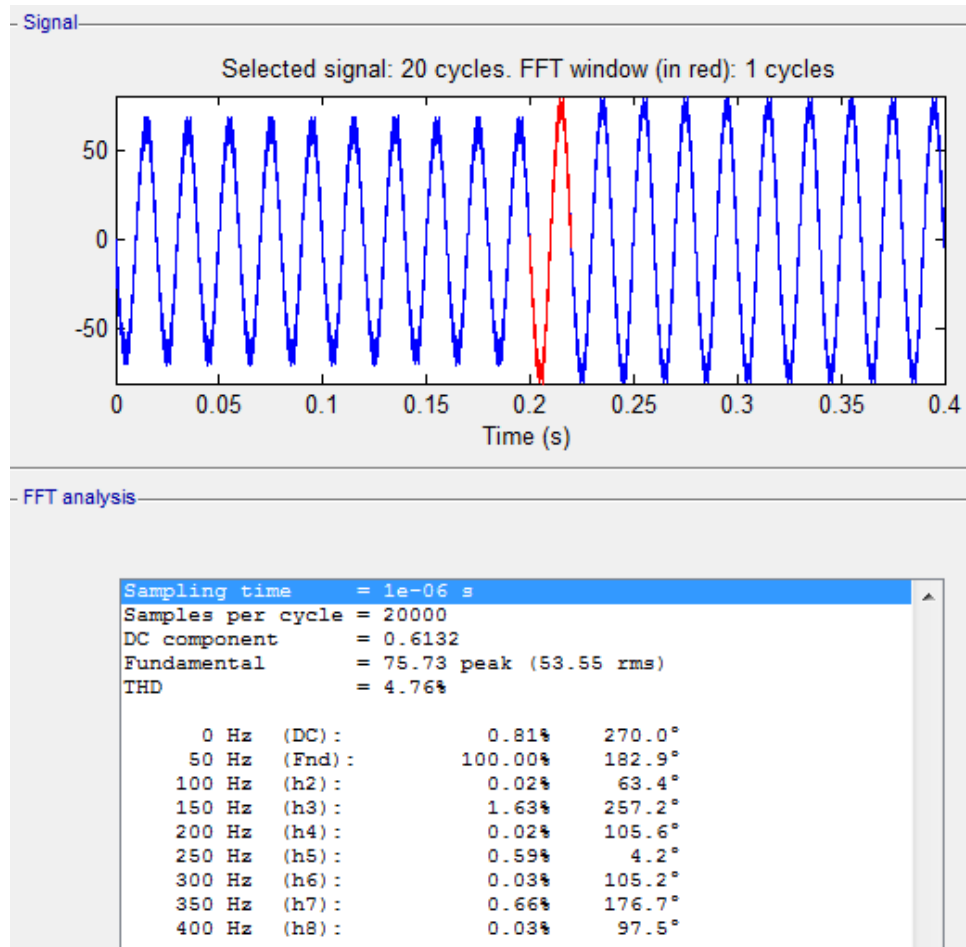


Рисунок 3.12 – Гармонійний склад вихідного струму під час випрямного навантаження

Синусоїда струму досліджувалася для одного періоду коливання – після накидання навантаження в момент часу 0,2 секунди.

Проаналізувавши результат розкладання струму в ряд Фур'є, представлений на рис. 3.12, можна зробити висновок про те, що параметри вхідних і вихідних фільтрів підібрано правильно, а значення вищих гармонік не перевищують допустимих значень. Спотворення струму за випрямного типу навантаження вищі, ніж за активно-індуктивного.

3.3 Робота безпербійного джерела живлення в аварійному режимі

Моделювання аварійного режиму роботи БДЖ забезпечується виставленням значення напруги 0 В, у блоці AC Source.

Аналогічно до попереднього розділу, навантаження застосовується активно-індуктивне і випрямне (побудоване за допомогою однофазного випрямляча). БДЖ постійно навантажений 80 % навантаженням, згідно з технічним завданням $S=10$ кВА. Через 0,2 секунди відбувається додавання 20 % навантаження $S=2$ кВА.

Дослідження роботи моделі БДЖ на активно-індуктивне навантаження: на рис. 3.13 і 3.14 представлено отримані в результаті моделювання осцилограми напруги та струму.

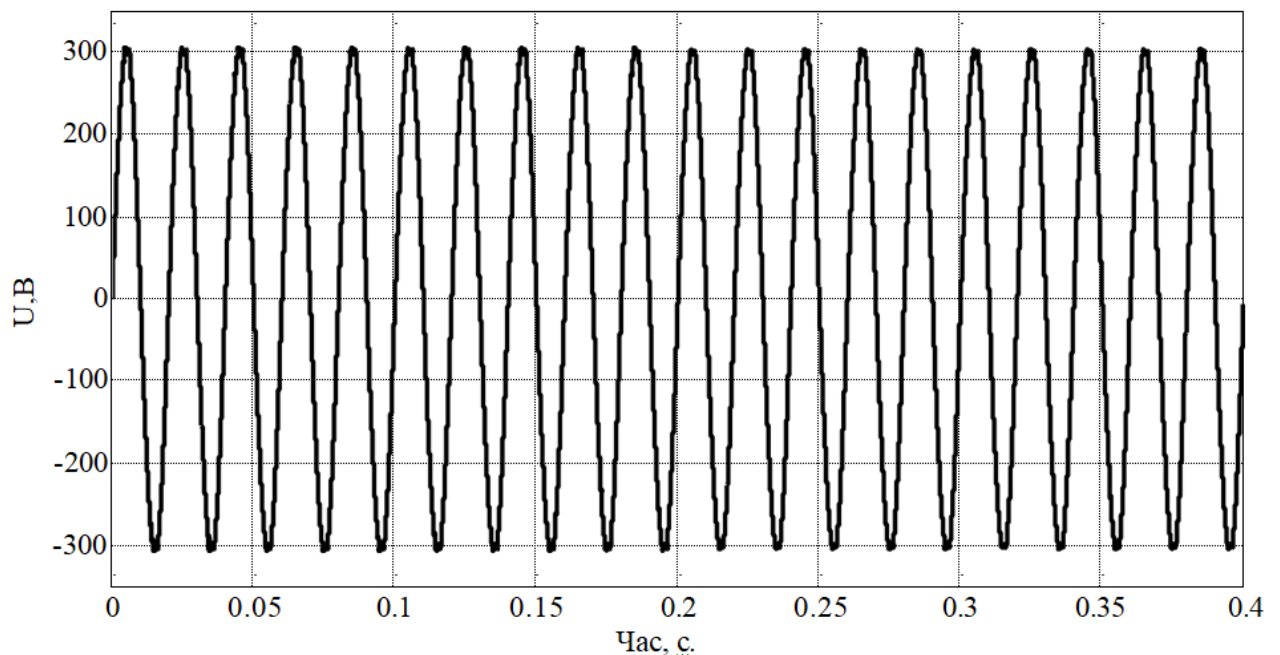


Рисунок 3.13 – Осцилограма напруги під час додавання активно-індуктивного навантаження

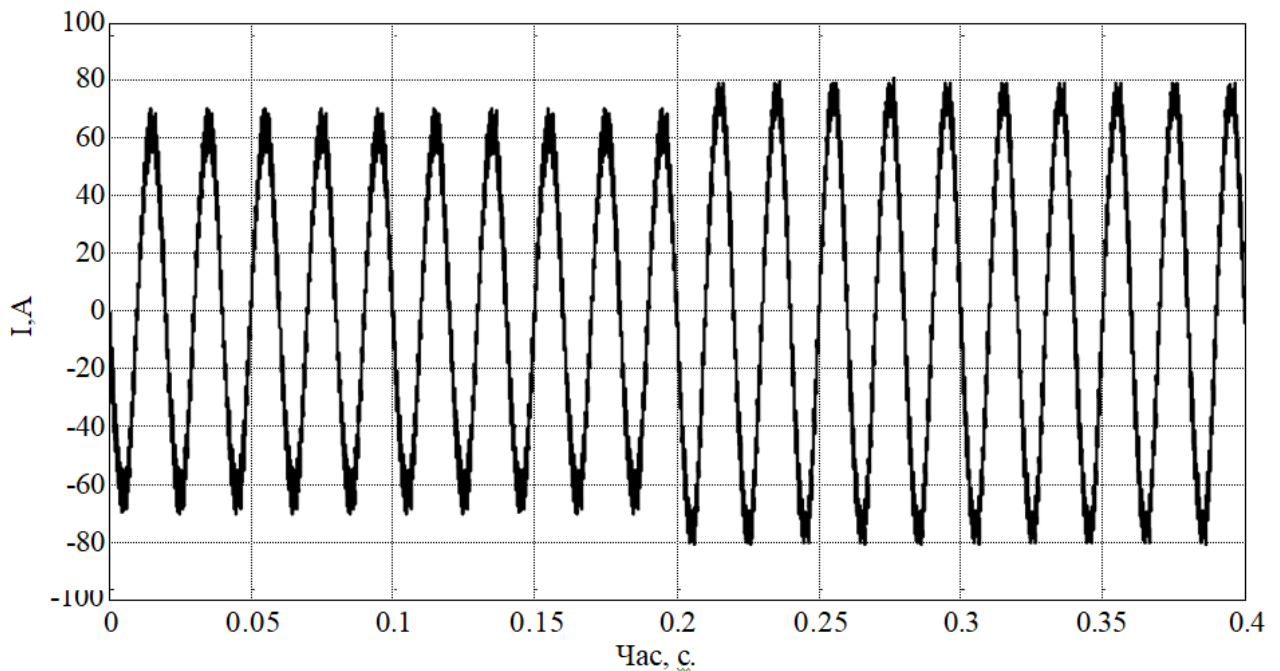


Рисунок 3.14 – Осцилограма струму під час додавання
активно-індуктивного навантаження

За представленими осцилограмами видно таке: напруга, під час комутації додаткового навантаження, залишається незмінною, а струм помітно зростає. Отримані результати моделювання роботи БДЖ в аварійному режимі ідентичні режиму роботи від мережі.

Аналіз вищих гармонік: на рис. 3.15, отриманому за допомогою функції FFT Analysis, представлено гармонійний склад вихідного струму за активно-індуктивного навантаження.

Синусоїда струму досліджувалася для одного періоду коливання - після накидання навантаження в момент часу 0,2 секунди. Проаналізувавши результат розкладання струму в ряд Фур'є, представлений на рис. 3.15, робимо висновок, що параметри вхідних і вихідних фільтрів підібрано правильно, а значення вищих гармонік не перевищують допустимих значень.

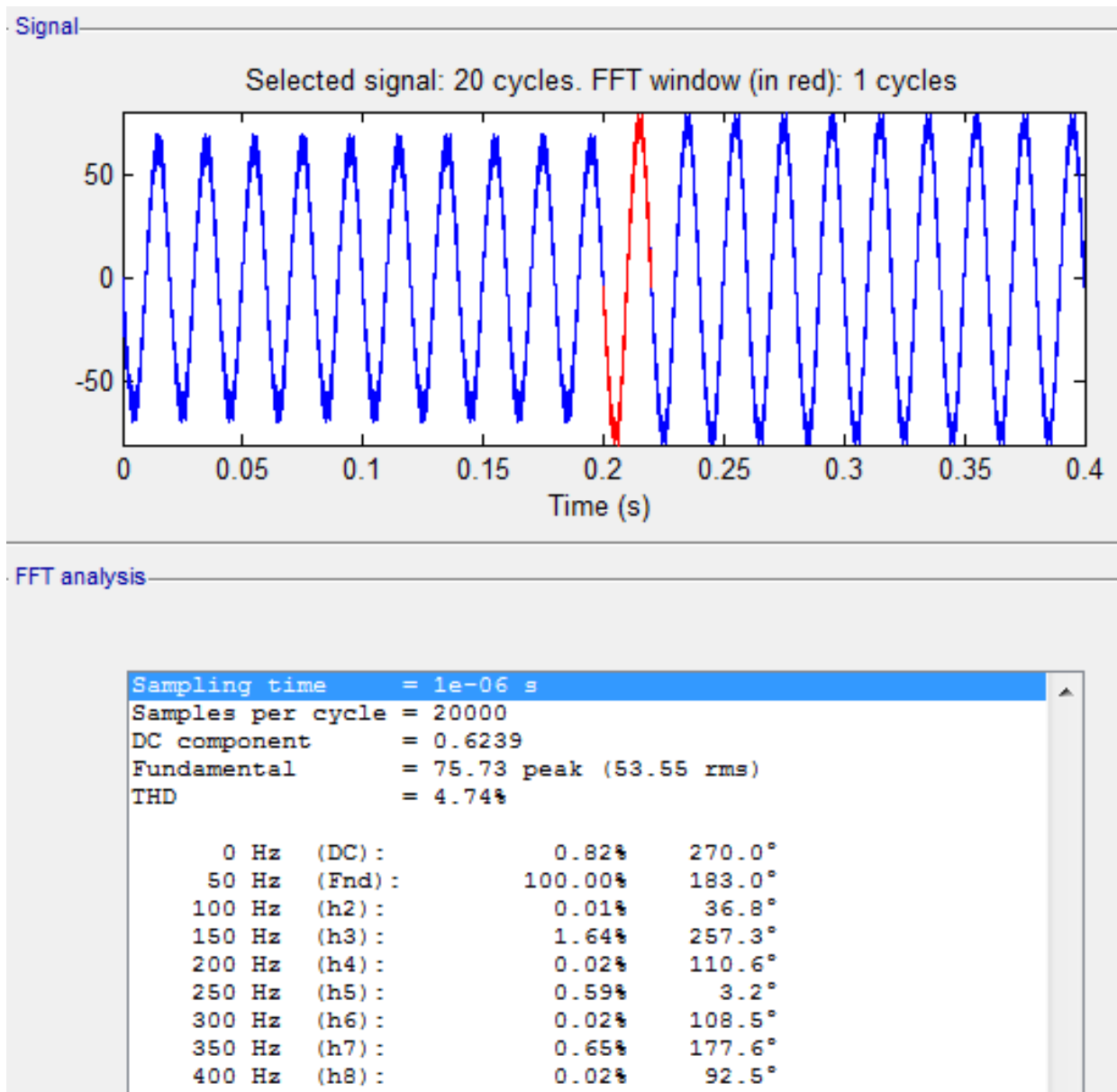


Рисунок 3.15 – Гармонійний склад вихідного струму
за активно-індуктивного навантаження

3.4 Робота імітаційної моделі на випрямне завантаження

На рис. 3.16 – 3.17 представлено осцилограми напруги та струму.

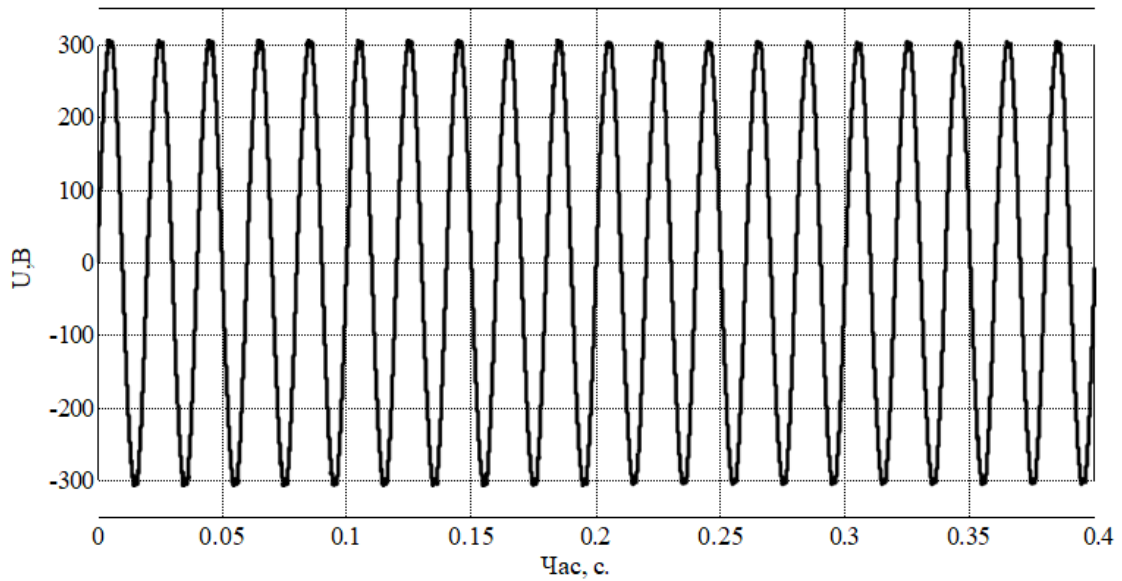


Рисунок 3.16 – Осцилограма напруги під час додавання випрямного навантаження

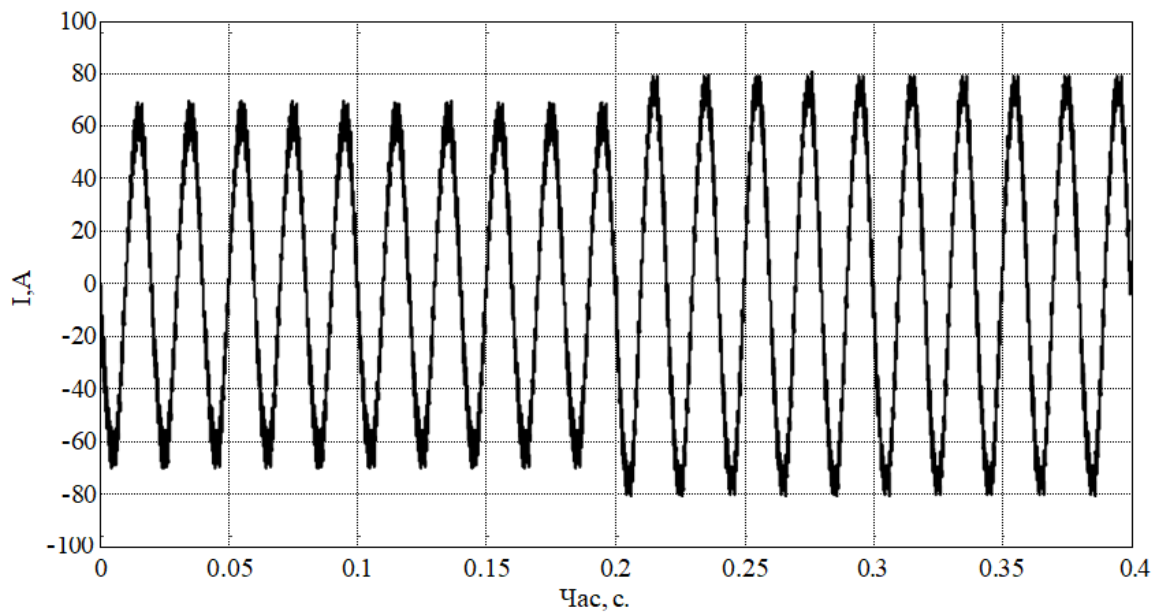


Рисунок 3.17 – Осцилограма струму під час додавання випрямного навантаження

У момент комутації додаткового навантаження напруга залишається практично незмінною, а струм помітно зростає. Під час роботи на цей вид навантаження спотворення синусоїди струму набувають більших значень, як порівняти з попереднім типом навантаження.

Отримані результати моделювання в аварійному режимі практично повністю збігаються з результатами, отриманими в процесі моделювання режиму живлення від мережі.

Аналіз вищих гармонік: на рис. 3.18, отриманому за допомогою функції FFT Analysis, представлено гармонійний склад вихідного струму під час випрямного навантаження.

Синусоїда струму досліджувалася для одного періоду коливання - після накидання навантаження в момент часу 0,2 секунди.

Проаналізувавши результат розкладання струму в ряд Фур'є, представлений на рис. 3.18, робимо висновок, що параметри вхідних і вихідних фільтрів підбрано правильно, а значення вищих гармонік не перевищують допустимих значень.

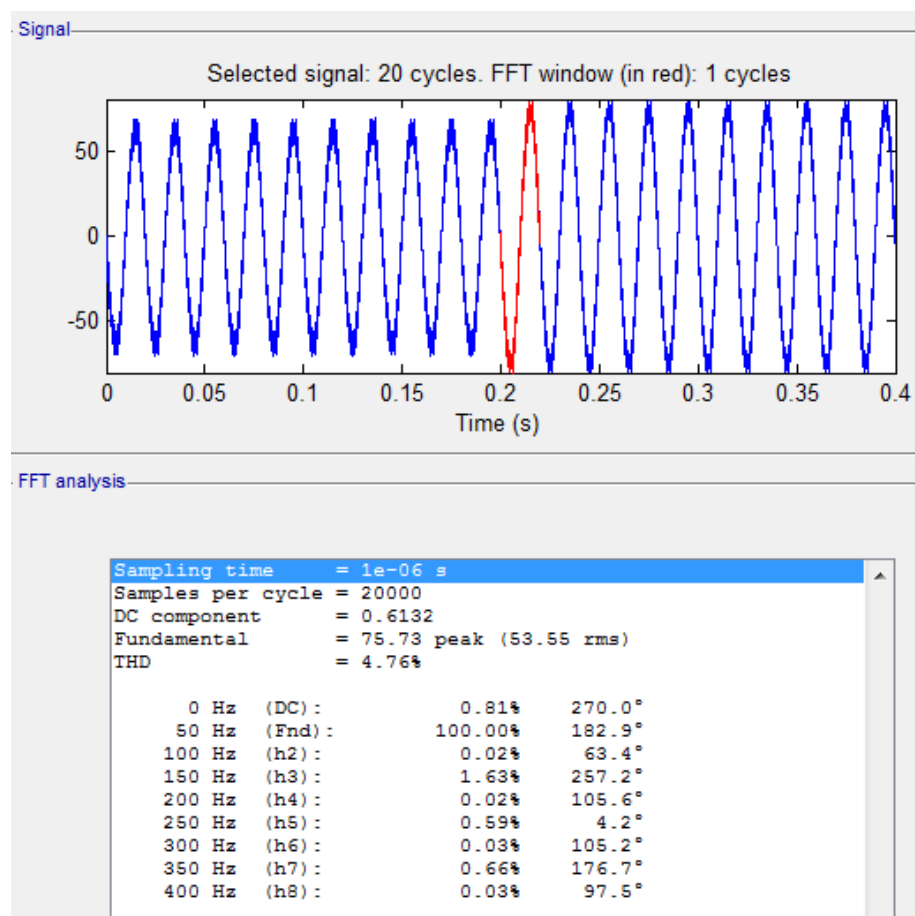


Рисунок 3.18 – Гармонійний склад вихідного струму в разі додавання випрямного навантаження

Порівнявши результати, які отримано розкладанням вихідного струму в ряд Фур'є за допомогою блоку FFT Analysis, видно таке: що як у мережевому, так і в аварійному режимі вищі гармоніки розподіляються практично ідентично. Значення 3, 5 і 7 гармонік практично не відрізняються в обох експериментах. Рівень кожної з 3, 5, 7 гармоніки становить менше 3 %. Таке зменшення величин вищих гармонік стало можливим завдяки використанню трирівневого інвертора. Щоб більш якісно оцінити роботу трьох рівневого інвертора цього типу, потрібен порівняльний аналіз з однофазним мостовим інвертором.

Щоб сформувати вихідну напругу на 3-рівневному інверторі (рис. 3.4), використовується система керування (рис. 3.5). Вона створює керуючі сигнали, що надходять на базу IGBT, і далі відбувається по чергове відкриття і закриття IGBT. За цим принципом і здійснюється формування синусоїдальної напруги. Для ШІМ, частота комутації силових ключів була прийнята $f=25$ Гц

Осцилограми керуючих сигналів, що надходять на базу транзисторів, згідно зі схемою інвертора (рис. 2.10), зображено на рис. 3.19.

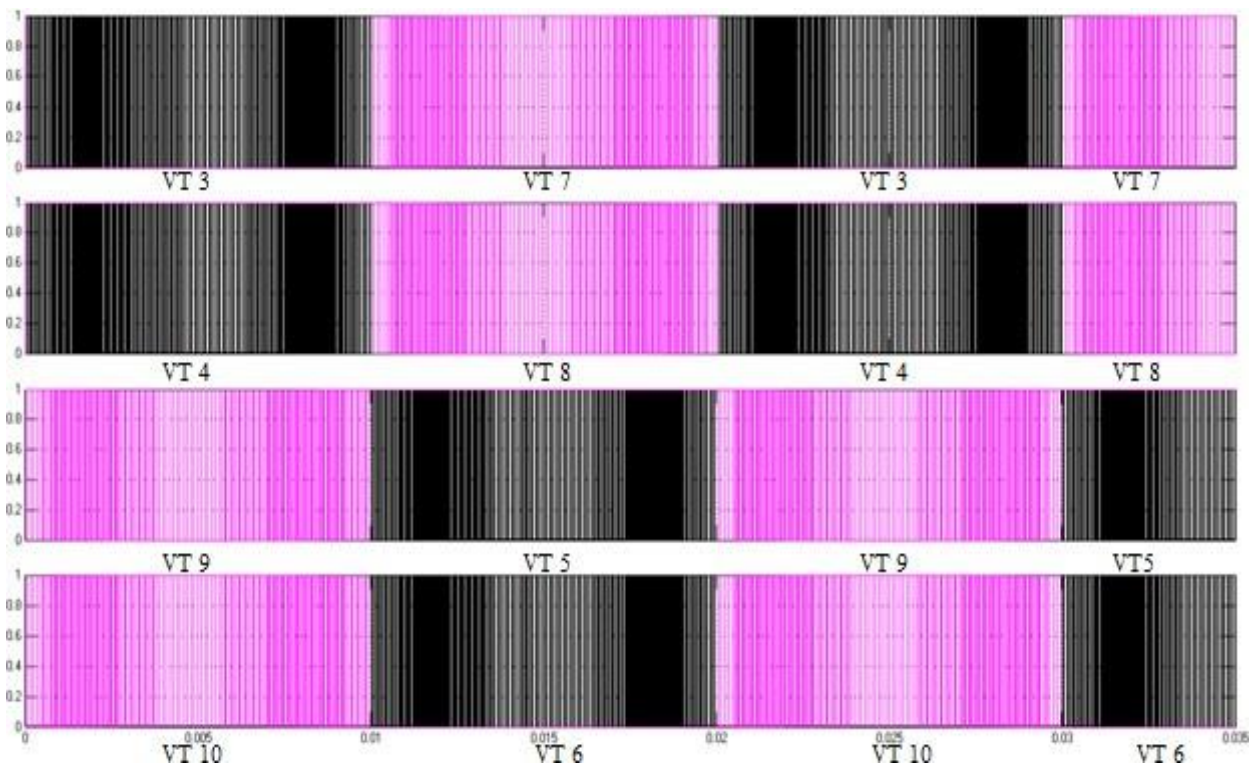
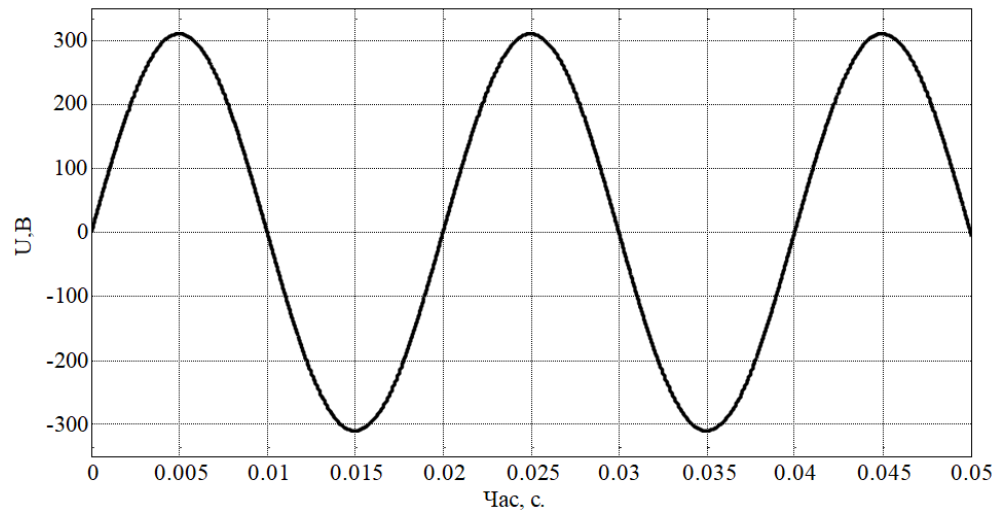
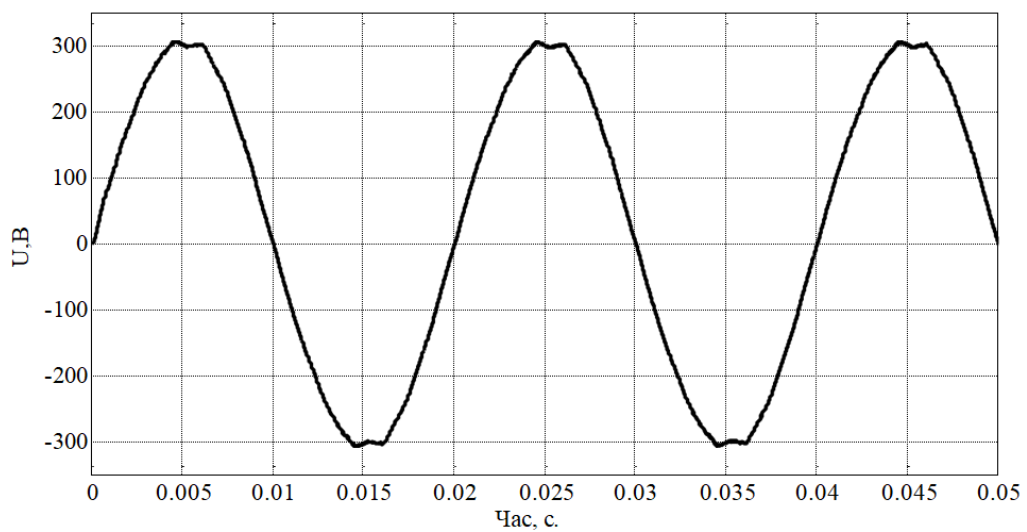


Рисунок 3.19 – Управляючі сигнали, що надходять на базу IGBT

Вихідна синусоїда дещо відрізняється від ідеальної через наявність втрат, що виникають у фільтрах згладжування, напівпровідникових елементах. Осцилограма порівняння вихідної напруги БДЖ з ідеальною синусоїдою напруги представлена на рис. 3.20.



а)



б)

Рисунок 3.20 – Осцилограми ідеальної синусоїди напруги (а)
та вихідної напруги БДЖ (б)

Максимальне відхилення вихідної напруги, у разі використання трьох рівневого інвертора, становить приблизно ± 5 В, що відповідає приблизно ± 2 %

від номінального значення напруги. Згідно з технічним завданням, відхилення вихідної напруги на навантаженні не повинно виходити за межі $\pm 3\%$.

Таким чином, використовуючи трирівневий інвертор напруги, споживач забезпечується живильною напругою необхідної якості.

3.5 Порівняльний аналіз трирівневого й однофазного мостового інвертора

Щоб порівняти роботу БДЖ із трирівневим інвертором і однофазним мостовим інвертором, відображеними на рис. 3.21, промодуємо роботу БДЖ на ті самі навантаження, що розглядаються вище.

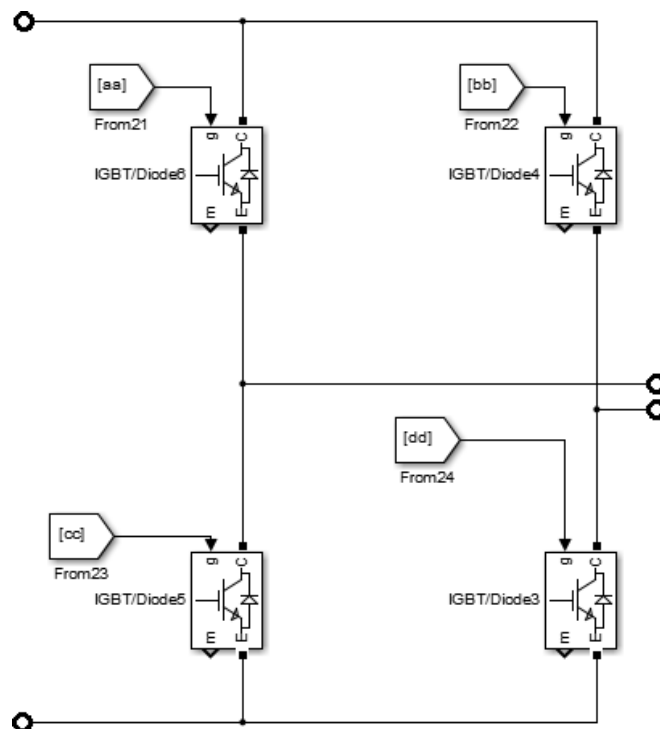
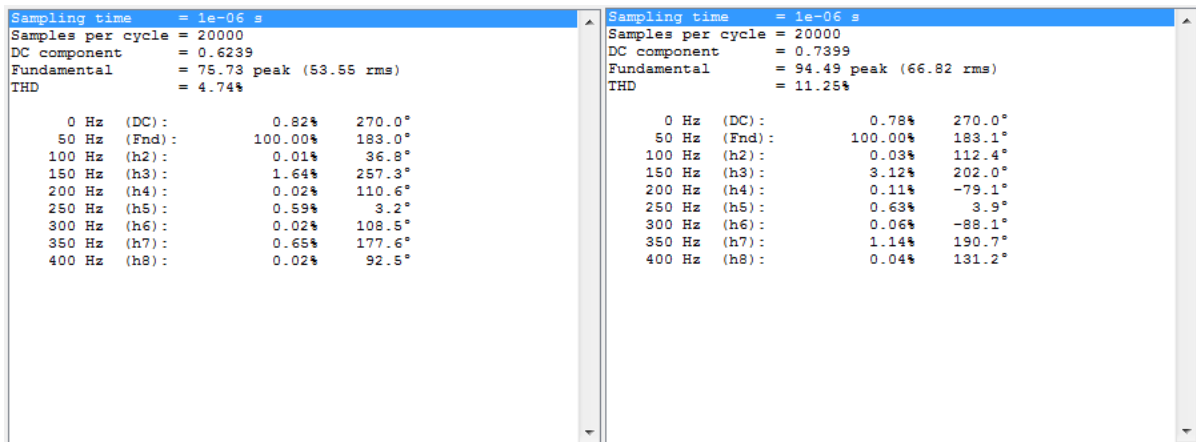


Рисунок 3.21 – Модель однофазного мостового інвертора в MATLAB Simulink

Для якісного порівняння роботи трирівневого інвертора із середньою точкою з однофазним інвертором на рис. 3.22 – 3.23 наведено результати гармонійного аналізу вихідного струму.

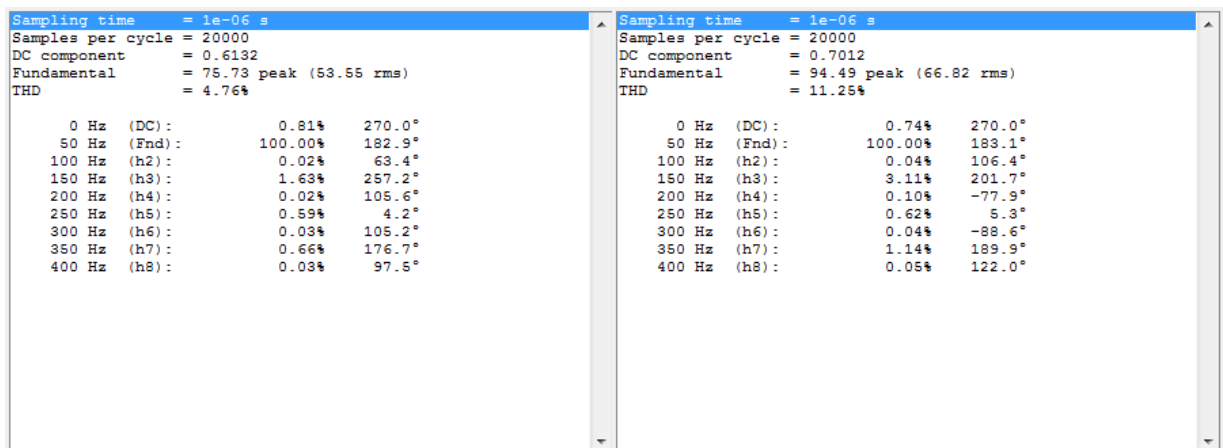


а)

б)

а – трирівневий інвертор; б – однофазний мостовий інвертор

Рисунок 3.22 – Гармонійний склад вихідного струму в разі додавання активно-індуктивного навантаження



а)

б)

а – трирівневий інвертор; б – однофазний мостовий інвертор

Рисунок 3.23 – Гармонійний склад вихідного струму в разі додавання випрямного навантаження

З рис. 3.22 – 3.23 можемо зробити висновок, що під час використання трирівневого інвертора рівень вищих гармонік нижчий, ніж за однофазного мостового інвертора.

Під час роботи випрямляч та інвертор у сукупності з навантаженням являють собою систему зі змінними параметрами. Це зумовлено тим, що цикл його роботи складається з двох етапів. На одному з етапів відкрито діоди

випрямляча і проводиться заряд його вихідного конденсатора через силовий фільтр інвертора. На іншому етапі діоди випрямляча закриті, і інвертор на цьому інтервалі перебуває в режимі холостого ходу. Таким чином, протягом циклу своєї роботи, інвертор повинен забезпечувати імпульсне споживання струму навантаженням для швидкого заряду вихідного конденсатора випрямляча за заданої якості вихідної напруги. При цьому через фільтр інвертора також протікає імпульсний, не синусоїдальний струм. А форма вихідної напруги інвертора під час роботи на випрямляч на інтервалах провідності діодів являє собою початкові ділянки коливальних перехідних процесів.

Для наочного відображення роботи трирівневого й однофазного мостового інверторів, за отриманими результатами гармонійних складових вихідного струму, наведеними на рис. 3.22 – 3.23, побудуємо діаграми, які відображено на рис. 3.24 – 3.25.

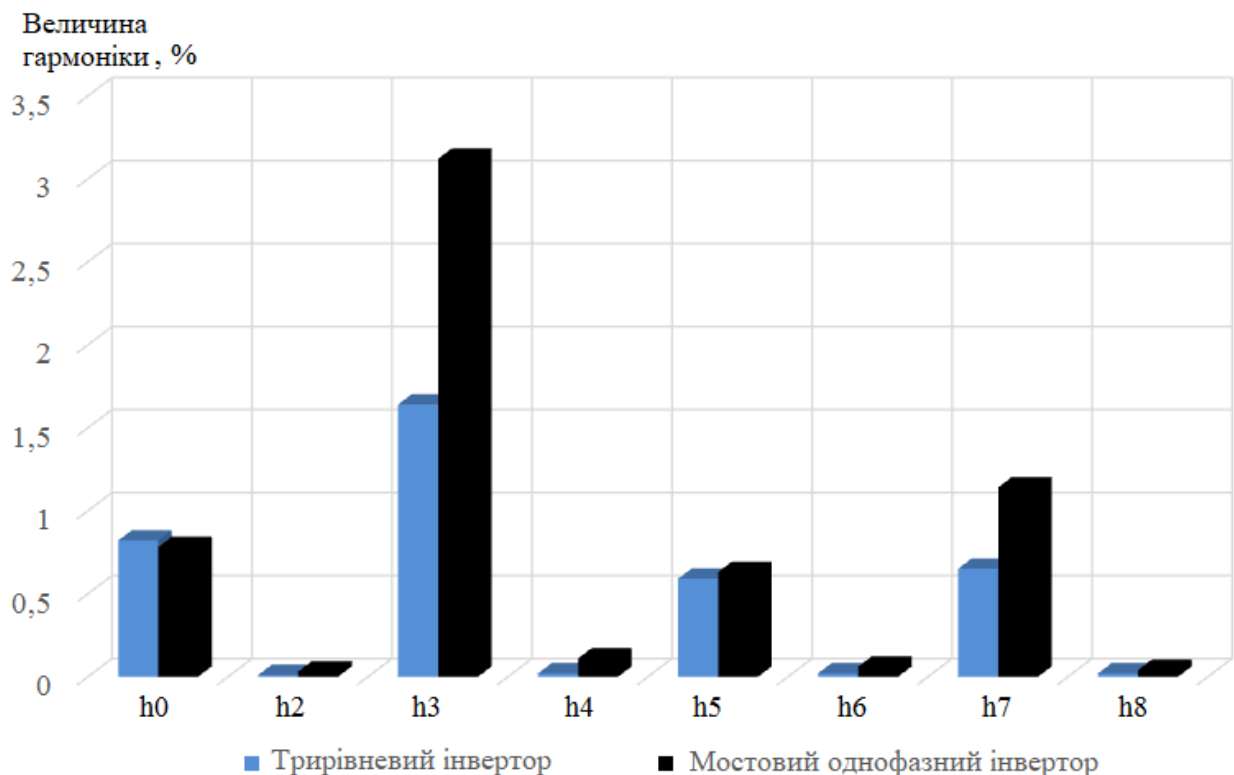


Рисунок 3.24 – Діаграма величин гармонік

за активно-індуктивного навантаження

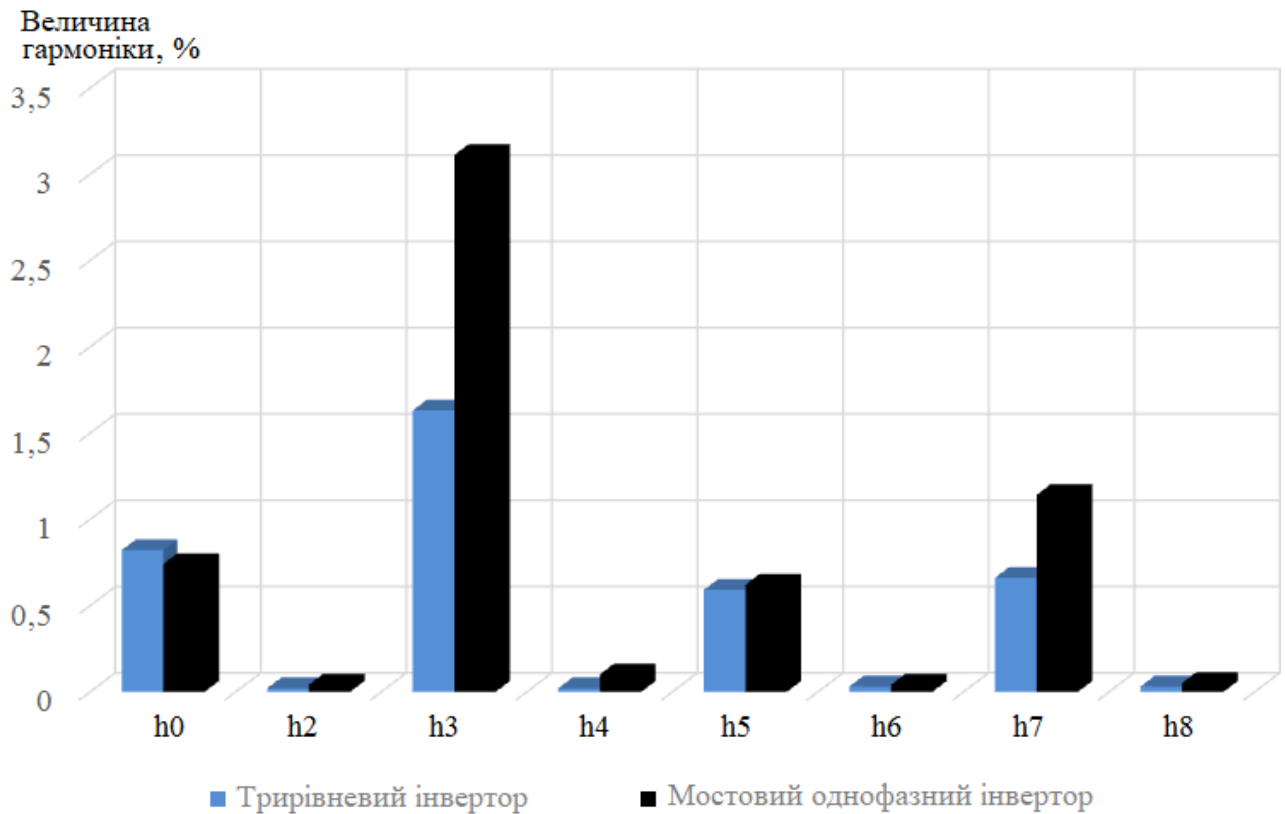


Рисунок 3.25 – Діаграма величин гармонік при випрямному навантаженні

Порівнюючи діаграми, представлені на рис. 3.24 – 3.25, бачимо, що трирівневий інвертор, на відміну від однофазного мостового, дає змогу помітно знизити значення вищих гармонік. Найбільш явно це спостерігається на гармоніках під номерами 3, 5 і 7. Зниження величин цих гармонік особливо важливе, тому що саме вони чинять найсильніший негативний вплив на роботу устаткування, що під'єднується до БДЖ. Застосування трирівневого інвертора, на відміну від однофазного мостового, дає змогу отримати синусоїду напруги на виході, яка за формою більш наближена до ідеальної, навіть за наявності реактивного навантаження, що зі свого боку сприятливо позначається на навантаженні.

3.6 Висновок до розділу

У середовищі комп'ютерного моделювання MATLAB Simulink було розроблено та досліджено імітаційну модель роботи БДЖ на різні навантаження. Коли БДЖ працює на активно-індуктивне навантаження спостерігається помітне згладжування коливань напруги та струму. Вихідна напруга при цьому практично не спотворюється. При роботі БДЖ на випрямлювальне навантаження спостерігається негативний вплив на якість мережі живлення. Це з ємнісним характером випрямного навантаження. При накиданні навантаження даного типу спостерігається провал напруги та кидок струму.

За допомогою функції FFT аналіз був розглянутий гармонійний склад вихідного струму в залежності від роботи БДЖ на різне навантаження. У процесі моделювання з'ясувалося, що застосування трирівневого інвертора, в розробленому БДЖ, в порівнянні з однофазним мостовим інвертором, дозволило помітно знизити вищі гармоніки вихідних струмів. Особливо явно це спостерігається на 3, 5, 7 гармоніках. Зниження величин даних гармонік дуже важливе, оскільки саме вони мають сильний негативний вплив на роботу обладнання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

На робочому місці оператора ПК можуть виникати небезпечні та шкідливі чинники: підвищений рівень шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, а також підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі, статична електрика тощо. Робота з ПК супроводжується також підвищеним ступенем напруженості трудового процесу. У разі систематичного впливу виробничих чинників, які не відповідають нормативним показникам, зростає рівень професійно зумовленої захворюваності працівників. Крім того, можуть виникнути професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи. Таким чином, вивчення умов праці на робочому місці програміста – це необхідна умова запобігання негативних наслідків впливу небезпечних та шкідливих чинників.

Організація робочого місця. Приміщення, в якому обладнане робоче місце програміста, загальною площею 48 м², і висотою стелі 3,5 м. У приміщенні розташовано 6 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнане робочим столом, стільцем та персональним комп'ютером, який складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші.

4.2 Промислова безпека на робочому місці

Живлення ПК здійснюється від трифазної чотирих електричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 220 В, частотою 50 Гц. Згідно з НПАОП 40.1-1.21-98 приміщення можна віднести до категорії без підвищеної безпеки, оскільки в приміщенні відсутні чинники, що викликають підвищену чи особливу небезпеку.

Для створення безпечних умов праці необхідно втілити низку організаційних і технічних заходів. Згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 для запобігання ураження людини електричним струмом у приміщенні застосовується система занулення.

4.3 Виробнича санітарія у приміщенні

Робота оператора ПК за енерговитратами належать до категорії легких робіт. У табл. 4.1 наведені оптимальні параметри мікроклімату в приміщеннях, де проводять роботи операторського типу [20].

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату для приміщень з ПК

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	22 – 24 °С; 40 – 60 %; до 0.1 м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	23 – 25 °С; 40 – 60 %; 0.1 – 0.2 м/с

Виміряні за допомогою приладів температура та вологість у лабораторії відповідають вказаним у таблиці для теплого періоду року. Слід зазначити, що для нормалізації параметрів мікроклімату слід використовувати у приміщеннях кондиціонування повітря, або забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції.

Лабораторія, де виконується робота, має наступні характеристики:

- площа приміщення – 48 м² (8 м × 6 м);
- висота – 3,5 м;
- кількість робочих місць – 6 шт.;
- обладнання – стіл з ПК і периферією – 6 шт.

Приміщення, відповідно до ДНАОП 0.00-1.31-99, має забезпечувати 6 м² площі та 20 м³ об'єму на одне окреме робоче місце з ПК [20]. Площа приміщення 48 м² та об'єм 168 м³, на кожне робоче місце приходиться 8 м² площі і об'єм 28 м³, тобто вимога виконана.

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %.

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, викладеної в [20].

Розрахункова формула методу:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.1)$$

де W – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, м²;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{ce} \cdot n_{ce}, \quad (4.2)$$

де W_{ce} – потужність одного світильника, Вт;

n_{ce} – кількість світильників в приміщенні.

$$W_{\Sigma} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ Вт}, \quad (4.3)$$

$$W = \frac{400}{48} = 8,33 \text{ Вт/м}^2. \quad (4.4)$$

Питомої потужності 8,33 Вт/м² по таблиці Б.3 із [20] відповідає освітленість в 250 лк при мінімальній допустимій освітленості 300 лк.

Отже, для створення сприятливих зорових умов у лабораторії необхідно збільшити кількість світильників або замінити в них лампи на більш потужні.

4.4 Пожежна безпека приміщення

Пожежна безпека – стан об'єкта, в якому виключається можливість пожежі, а у випадку її виникнення запобігає впливу на людей небезпечних чинників пожежі й забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі й системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути План евакуації людей під час пожежі, що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння, що й указує місця розташування пожежної техніки.

Горючими компонентами у виробничому приміщенні є: перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів тощо.

Протипожежний захист – це комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовані на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження її поширення, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Джерелами запалювання у виробничому приміщенні можуть бути електронні схеми від ПК, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри й дуги, що здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ПК дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні проведення, кабелі. Під час протікання по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ПК служать системи вентиляції й кондиціонування повітря. У разі постійної дії ці системи стають додатковою пожежною небезпекою.

Енергопостачання виробничого приміщення реалізується за допомогою трансформаторної станції, а також завдяки двигун-генераторних агрегатів. На трансформаторних підстанціях особливу небезпеку можуть спричинити трансформатори з масляним охолодженням. Зважаючи на це, перевагу слід надавати сухим трансформаторам.

ВИСНОВКИ

Однією з головних переваг модернізації є те, що вона забезпечує додаткову надійність та стабільність роботи системи автоматичного керування. Це особливо важливо для систем, які не можуть бути вимкнені, таких як системи безпеки або комп'ютерні мережі. Крім того, модернізація забезпечує більш довгу автономність в разі відмови основного джерела живлення, що є важливим для систем, де відновлення роботи після відмови може бути небезпечним або важким.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи за темою досліджень було визначено, що існуючі системи керування джерел безперебійного живлення мають ряд недосконалостей.

В роботі проаналізовано технічні властивості різних типів джерел безперебійного живлення та зроблено порівняння їх різних видів з вказанням переваг та недоліків кожного з них. Досліджено актуальні проблеми при експлуатації та проектуванні системи керування БДЖ.

Для побудови системи електроживлення для захисту локальних обчислювальних мереж номінальною потужністю 10 кВА була прийнята модель БДЖ з подвійним перетворенням електроенергії, що забезпечує необхідну умову нерозривності живильної синусоїди.

У ході виконання роботи були розраховані всі функціональні елементи, що входять до складу БДЖ, такі як: згладжуючі фільтри, некеровані випрямлячі, трирівневий інвертор, перетворювачі постійної напруги та ін. Для кожного силового елемента БДЖ була обрана конкретна модель, комплектуючі якої у вільному доступі існують на ринку та повністю відповідають за своїми технічними характеристиками необхідним умовам. Розроблено структурну схему БДЖ з розглядом функціоналу кожного силового елемента ній.

У середовищі комп'ютерного моделювання MATLAB Simulink було розроблено та досліджено імітаційну модель роботи БДЖ на різні навантаження. Коли БДЖ працює на активно-індуктивне навантаження спостерігається помітне згладжування коливань напруги та струму. Вихідна напруга при цьому практично не спотворюється. При роботі БДЖ на випрямлювальне навантаження спостерігається негативний вплив на якість мережі живлення. Це з ємнісним характером випрямного навантаження. При накиданні навантаження даного типу спостерігається провал напруги та кидок струму.

За допомогою функції FFT аналіз був розглянутий гармонійний склад вихідного струму в залежності від роботи БДЖ на різне навантаження. У процесі моделювання з'ясувалося, що застосування трирівневого інвертора, в розробленому БДЖ, в порівнянні з однофазним мостовим інвертором, дозволило помітно знизити вищі гармоніки вихідних струмів. Особливо явно це спостерігається на 3, 5, 7 гармоніках. Зниження величин даних гармонік дуже важливе, оскільки саме вони мають сильний негативний вплив на роботу обладнання.

Під час виконання розділу «Охорона праці» були визначені небезпечні та шкідливі виробничі чинники. Зважаючи на це були розроблені заходи і технічні засоби щодо забезпечення безпеки праці персоналу. Дотримання цих заходів дасть змогу максимально знизити ймовірність отримання травм під час роботи, а також поліпшити умови роботи персоналу лабораторії, де проводилась робота над дослідженнями.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В.В.Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2023. – 49 с

2. Положення про організацію проведення практики здобувачів вищої освіти Харківського національного університету радіоелектроніки [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 03 травня 2019 р. № 222. – Режим доступу: <https://nure.ua/wp-content/uploads/222-vid-03.05.2019-provvedennjavidijurishennja-vchenoi-radi-universite-tu.pdf>.

3. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація «Звіти у сфері науки і техніки». Структура та правила оформлювання. / В. Земцева; Ю. Поліщук, канд. фіз.-мат. наук; Р. Санченко, канд. техн. наук; Л. Шрамко; А. Ямчук (науковий керівник) ДП «УкрНДНЦ» від 22 червня 2015р. № 61 з 2017-07-01.

4. Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://tapr.nure.ua/golovna/pro-nas/istorija-kafedri/> – 20.09.2024 р. – Загл. з екрану.

5. Kanunnikov A., Allakhveranov R. Study of features and operating conditions of batteries manufactured by AGM-technology // VI International scientific and practical conference “Perspectives of contemporary science: theory and practice” – SPC “Sci-conf.com.ua”, Lviv, Ukraine. 2024. pp. 113-117, ISBN 978-966-8219-88-7.

6. Percy B. Warwic. How to Make and Use the Storage Battery: Embracing Its History, Theory, Maintenance, and the Installation of Plants / Creative Media Partners, LLC, 2022. – 150 pp.
7. Watson A. E. Storage batteries : their theory, construction and use / Bubber Pub. Co.; H. Alabaster Gatehouse Co., Lynn, Mass., London, 1908. – 148 pp.
8. Rand D. A. J., Moseley P. T., Garche J., Parker C. D. Valve-Regulated Lead-Acid Batteries / Elsevier, Amsterdam, 2004. – pp. 602.
9. Джерело живлення. Види джерел живлення [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.xn-80aacyeau1asblh.xnp1ai/reference/terminology/229-power-supply>. – 03.12.2024 р. – Загол. з екрану
10. Семенець, В. В. Технологія між'єднань електронної апаратури: навч. для вузів / В.В. Семенець, Д. Кратц, І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін. – Харків: Компанія СМІТ, 2005. – 432 с.
11. Electronic Components Datasheet Search [Електронний ресурс]: Electronic Components Datasheet Search. – Режим доступу: <http://alldatasheet.com/>.
12. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
13. Невлюдов І.Ш. Людино-машинний інтерфейс в технічних засобах автоматизації: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, Б.О. Шостак. – Харків : «ХТМТ», 2019. – 244 с.
14. ANALOG DEVICES "Ресурс" [Електронний ресурс] / «Datasheet» Режим доступу: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7528.pdf 25.12.2024р.– Загл. з екрану.
15. Невлюдов І.Ш. Основи виробництва електронних апаратів / І.Ш. Невлюдов. – Харків: Компанія СМІТ, 2005. – 592 с.
16. Діагностика та контроль робочих процесів: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та дистанційної форм навчання / В. М. Доля – Харків: НТУ «ХП», 2019. – 129 с.

17. Anikin A. S., Martyanov A. S., Martyanov N. A. Comparative analysis of wind turbines control strategies // *Procedia Engineering: International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2018)*. – 2018. – С. 607–614.

18. Martyanov A., Solomin E. Modelling of Wind Turbine Performance Measurement // *Journal of Computational and Engineering Mathematics*. – 2019. – № 2. – С. 18–25.

19. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації. Збірник задач. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, Г.В. Пономарьова, А.О. Функендорф. – Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. – 332 с.

20. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т .Є. Стищенко, Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк. – Харків, 2017. – 108 с.