

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Лабораторний стенд дослідження принципів роботи частотного
перетворювача

Назва теми

КВРАКІТ.2019074.01.13.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

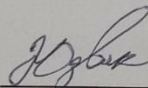
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент IV курсу, група АКІТс-19-1

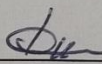


Підпис

В'ячеслав ЮЗВАК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

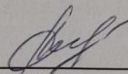


Підпис, дата

Микола ФЕДУЛА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

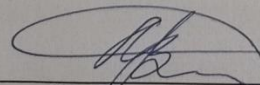


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих
технологій



Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«17» червня 2022 р.

Хмельницький 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма освітньо-професійна програма підготовки бакалавра

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри АКІТ

Ю. М. Мельничук В. В.

02.03.2022

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Юзвак В'ячеслав Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Лабораторний стенд дослідження принципів роботи частотного перетворювача

Керівник роботи Федула Микола Васильович

канд. техн. наук, доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 01.03.2022р. № 18

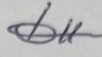
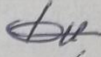
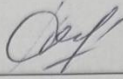
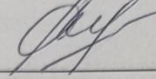
2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 01.06.2022р.

3. Вихідні дані до проекту завдання на виконання кваліфікаційної роботи

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, Огляд методів розв'язання поставленої задачі, Розробка схемотехнічних рішень, Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення, висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) 12-15 презентаційних слайдів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

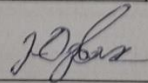
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Антиплагіат | Микола ФЕДУЛА к.т.н., доцент |  |  |
| Нормоконтроль | Людмила КОРЕЦЬКА к.т.н., доцент |  |  |

7. Дата видачі завдання 02 03 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--|-------------------------------|----------|
| 1 Вибір та затвердження теми кваліфікаційної роботи; розробка завдання на кваліфікаційну роботу; складання календарного графіка виконання кваліфікаційної роботи | 15.02.2022 | виконано |
| 2 Вивчення предметної області, в якій планується використання системи автоматизації; аналіз вимог до системи автоматизації | 15.03.2022 | виконано |
| 3 Проектування та розробка загальної архітектури і структури системи автоматизації, інтерфейсу користувача; вибір засобів реалізації системи автоматизації | 29.03.2022 | виконано |
| 4 Програмна реалізація та тестування системи автоматизації | 12.04.2022 | виконано |
| 5 Написання тексту пояснювальної записки та розробка графічних матеріалів | 19.04.2022 | виконано |
| 6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог | 11.04.2022 | виконано |
| 7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль | 30.05.2022 | виконано |
| 8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи | 10.06.2022 | виконано |

Студент

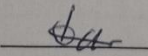


Підпис

В.С. Юзвак

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



Підпис

М.В. Федула

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Лабораторний стенд дослідження принципів роботи частотного перетворювача».

Автор роботи: Юзвак В'ячеслав Сергійович.

Керівник роботи: Федула Микола Васильович

Пояснювальна записка: 62 с., 42 рис., 2 табл., 2 дод., 13 джерел.

Графічна частина: 15 презентаційних слайдів.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ, АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ,
МІКРОКОНТРОЛЕР, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

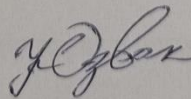
Метою роботи є розробка автоматизованої системи вимірювання параметрів асинхронних двигунів.

Розроблено модель ПЛ зі ланкою ПТ. Отримано основні характеристики ПЛ; тимчасові діаграми струмів та напруг; регульовальні характеристики перетворювача на активно індуктивне навантаження.

Описано математичні моделі перетворювача частоти. Проведено порівняльний аналіз моделей.

Показано, що вихідний струм на навантаженні інвертора відстає по фазі від напруги на половину періоду, тому що навантаження активно-індуктивне

Підпис студента



16.06.22
Дата

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ЗМІСТ | 2 |
| ВСТУП | 4 |
| 1 ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЧ..... | 7 |
| 1.1 Загальні відомості про суднові електроенергетичні системах..... | 7 |
| 1.2 Принцип побудови перетворювачів частоти | 9 |
| 1.3 Перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму | 11 |
| 1.3.1 Однофазний знижувальний частотний перетворювач..... | 14 |
| 1.3.2 Підвищуючий частотний перетворювач..... | 15 |
| 1.3.3 Частотний перетворювач трифазної напруги трифазне | 17 |
| 1.3.4 Частотний перетворювач однофазної напруги в трифазну..... | 19 |
| 1.4 Аналіз комутаційних процесів у багатофазних схемах випрямлення... | 25 |
| 1.5 Зовнішня характеристика перетворювача..... | 28 |
| 1.6 Аналіз роботи трифазного автономного інвертора напруги | 29 |
| 1.5 Висновки до першого розділу | 33 |
| 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ | |
| ІЗ ЛАНКОЮ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ | 34 |
| 2.1 Чисельні методи та алгоритми | 34 |
| 2.2 Випрямляч із фільтруючим конденсатором..... | 35 |
| 2.3 Випрямляч з LC- фільтром..... | 36 |
| 2.4 Математична модель інвертора у фазних змінних..... | 37 |
| 2.5 Математична модель інвертора при перетворенні координат (в ортогональні двофазні)..... | 39 |
| 2.4 Висновки до другого розділу | 45 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-----------------|-----------------|----------|--|------------|------|--------|
| | | | | | КВРАКІТ.2019074.01.13.ПЗ | | | |
| Зм | Лист | № докум | Підпис | Дата | Лабораторний стенд дослідження принципів роботи частотного перетворювача | Літ | Лист | Листів |
| Розроб. | | Юзвек В.С. | <i>[Підпис]</i> | 17.05.22 | | | | |
| Перевід. | | Федула М.В. | <i>[Підпис]</i> | 19.06.22 | | | 2 | |
| Н. Контр. | | <i>[Підпис]</i> | <i>[Підпис]</i> | 19.06.22 | | ХНУ | | |
| Затв. | | Мартинюк В.В. | <i>[Підпис]</i> | 19.06.22 | | | | |

Тому дослідження спільної роботи силових напівпровідникових перетворювачів і машин змінного струму за різних способів управління, а також питання вибору параметрів кожної зі складових подібної системи є актуальними.

| | | | | | | |
|--|--|-----------------|---------------|--|---------------------------------|---|
| | | | | | <i>КВРАКІТ.2019074.01.13.ПЗ</i> | |
| | | | | | | |
| | | <i>№ локум.</i> | <i>Пілпис</i> | | | 6 |

1 ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЧ

1.1 Загальні відомості про суднові електроенергетичні системах

Потужність електротехнічних систем суден досягає декількох десятків мегават. Суднові електротехнічні системи працюють у автономному режимі. Вони включають велику кількість підсистем енергопостачання, функціонування яких пов'язане з електроенергією різних параметрів і якості. У системах електропостачання суден використовують електроенергію змінного та (або) постійного струму. Як правило, основні джерела електроенергії судів служать для живлення гребних електричних установок (ГЕУ), що включають електропривод гребного гвинта. Крім того, ряд систем отримують електроенергію від окремих дизель- електричних установок, що забезпечують гарантоване електропостачання найбільш відповідальних споживачів. Електротехнічні системи визначаються типом ГЕУ. Структурна схема електропостачання з електроприводом гребного гвинта від двигуна постійного струму наведена на рис. *a*.

У цій схемі генератор змінного струму *ДГ* є частиною дизель- електричної станції (ДЕС). Частота напруги змінного струму відповідає промисловій частоті. Напруга змінного струму надходить на тиристорні випрямлячі, які живлять електричні двигуни.

гребний електродвигун. Ці системи можуть бути реалізовані як безпосередні перетворювачі частоти (НПЧ) або перетворювачі частоти з ланкою постійного струму. Схема перетворювача частоти може бути виконана на тиристорах з природною комутацією, біполярних транзисторах або IGBT-транзисторах. Прогрес у галузі силової електроніки дозволяє створити ПЧ на повністю керованих ключах та забезпечити високу якість управління.

Деякі підсистеми отримують електроенергію, параметри якої відмінні від параметрів електроенергії на загальних шинах. У цих випадках використовуються різні напівпровідникові перетворювачі електроенергії. Доцільність використання централізованого харчування від таких перетворювачів має встановлюватися у процесі проектних робіт. Наприклад, відомо, що для живлення станцій радіолокації (РЛС) застосовується напруга частотою 400 Гц. Причому частота 400 Гц використовується живлення як РЛС судів, а й систем наземного базування. Спочатку для живлення РЛС використовувалися перетворювачі частоти з 50 до 400 Гц. Проте застосування таких перетворювачів спричинило погіршення техніко-економічних характеристик електротехнічних систем. У цьому перетворення електроенергії проводиться лише на рівні вторинних джерел блоків живлення РЛС. Сучасні РЛС можуть отримувати електроенергію із частотою як 400, і 50 Гц. [2]

1.2 Принцип побудови перетворювачів частоти

Джерело з фіксованою напругою постійної частоти можна перетворити на джерело з регульованою напругою та частотою за допомогою системи випрямляча-інвертора. Недоліки такої системи полягають у тому, що потрібні два щаблі перетворення, що збільшує сумарні втрати.

Перетворювач частоти - перетворювач, призначений для перетворення струму однієї частоти в струм іншої частоти з можливою зміною значення напруги та числа фаз. Перетворювачі частоти і класифікуються за потужністю, напругою, числом фаз вхідної та вихідної напруги, схемою перетворення і т.д. Робота перетворювача та її техніко-економічні характеристики переважно визначаються схемою перетворення. Від схеми перетворення безпосередньо залежать:

- параметри вихідного напруги;
- коефіцієнт потужності перетворювача по входу та виходу;
- форма кривої змінного струму, що споживається з живильної мережі;
- зовнішня (навантажувальна) характеристика перетворювача;
- ККД.

Перетворювачі з регульованою частотою знайшли широке застосування області електроприводу для регулювання частоти обертання асинхронних двигунів.

При класифікації перетворювачів частоти за схемою перетворення виділяють два основні типи:

- перетворювачі з безпосереднім зв'язком мережі живлення та ланцюгів навантаження, які в літературі іноді називаються перетворювачами з неявно вираженою ланкою постійного струму.

- перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму.

Перетворювачем частоти із безпосереднім зв'язком називається прямий перетворювач, тобто. перетворювач, в якому енергія джерела змінного струму передається в навантаження безпосередньо на провідних інтервалах силових ключів схеми. Такі перетворювачі застосовуються в електроприводі для керування низькошвидкісними двигунами дуже великої потужності. Основою силової частини таких перетворювачів є зустрічно-паралельно

включені групи тиристорів, кожна з яких може працювати у випрямлювальному або інверторному режимі.

Перетворювачі на тиристорах з безпосереднім зв'язком поділяються на перетворювачі з природною комутацією тиристорів (під впливом напруги мережі живлення), звані також циклоконвертерами, і перетворювачі зі штучною (примусовою) комутацією тиристорів.

1.3 Перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму

Частотні перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму класифікуються як:

- знижуючі частотні перетворювачі, з вихідною частотою нижче частоти живильної мережі;
- підвищують частотні перетворювачі, з вихідною частотою вище частоти живильної мережі.

Структурна схема перетворювача частоти з проміжною ланкою наведена на рисунку 1.2. Змінна напруга U_1 з частотою f_1 надходить на вхід випрямляча. Випрямлена напруга згладжується фільтром і надходить на вхід автономного інвертора, що має вихідну напругу U_2 частотою f_2 . У перетворювачах даного типу частота вихідної напруги не залежить від частоти мережі живлення і може бути як більше, так і менше цієї частоти.

Схема випрямляча зазвичай вибирається з умов забезпечення вимог щодо регулювання його вихідної напруги, впливу на джерело змінної напруги, живильний перетворювач, допустимому рівню пульсацій випрямленої напруги та ін. Вимоги до зниження рівня пульсацій випрямленої напруги пов'язані з впливом їх на якість вихідної напруги інвертора зазвичай у вигляді модуляції (періодичного зміни амплітуди) вихідної напруги інвертора. При живленні перетворювача від промислової мережі випрямляч

Якщо ланка АІ виконана за схемою інвертора струму, то фільтр повинен мати індуктивний вихід для забезпечення безперервності струму, що інвертується (або утворення коливального процесу зміни цього струму в резонансних інверторах).

У цьому випадку вихідна індуктивність фільтра, як правило, відноситься безпосередньо до інверторної ланки і враховується при його проектуванні у вигляді індуктивності реактора, що згладжує L_d . У більшості випадків подібного типу перетворювачів фільтр має Т-подібну структуру, що складається з Г-подібного LC-фільтра на виході випрямляча та індуктивності згладжувального реактора L_d на виході інвертора.

Слід зазначити, що частоти перетворювачі з автономним інвертором струму в даний час в основному застосовуються для управління синхронними двигунами дуже великої потужності. При цьому інвертор виконується на тиристорах, комутація яких відбувається під впливом навантаження, тобто синхронного двигуна, обмотки якого безпосередньо підключаються до мосту тиристорного інвертора струму. Напряга цих обмоток дозволяє забезпечити природну комутацію тиристорів. Така комутація також називається електромашинною.

У перетворювачах малої та середньої потужності з регульованою в широкому діапазоні частотою вихідної напруги, призначених зазвичай для живлення рухового навантаження, ланка АІ виконується, як правило, за схемою інвертора напруги. До більшості таких перетворювачів не пред'являються високі вимоги щодо синусоїдності вихідної напруги, тому інверторна ланка в них або не має вихідного фільтра, або вводиться фільтр невеликої встановленої потужності. За необхідності поліпшення синусоїдності кривої вихідної напруги застосовують спеціальні схемні рішення або широтно-імпульсну модуляцію вихідної напруги за синусоїдальним законом.

У момент часу t_x запускається тиристор 2' і цим вимикає тиристор 1. Потім у момент часу t_2 знову запускається тиристор 1, а тиристор 2' вимикається і так далі.

Протягом негативного напівперіоду тиристори 1 та 2 зміщені у прямому напрямку. Тиристори запускаються в послідовності 1-2-1-2, і аналогічний процес повторюється.

Слід зазначити, що в даному випадку частота вхідної напруги вчетверо нижче частоти вихідної напруги. Недоліком цієї схеми є необхідність примусової комутації тиристорів.

Електрична схема, наведена на рисунку 5, перетворює трифазну напругу в однофазне. Дана схема є не що інше як комбінація двох трифазних перетворювачів. У будь-який момент часу працює лише один із перетворювачів. Протягом позитивного півперіоду вихідної напруги працює Р-перетворювач, а протягом негативного - N-перетворювач. Перетворення вхідної напруги протягом одного періоду у вихідне відбувається за шість циклів.

Коли N-перетворювач перебуває в активному стані, вихідна напруга є негативною. На рисунку 1.5 видно, що цикл перетворення відбувається за два періоди вхідної напруги. Тому частота вихідної напруги становить половину частоти вхідної напруги.

Недоліком такої схеми є наявність гармонійних складових у вихідній напрузі та використання великої кількості тиристорів.

Силовий ланцюг цієї схеми досить складний, у ньому задіяно 18 тиристорів. Така схема використовується керувати швидкістю обертання низькооборотних трифазних асинхронних електродвигунів.

1.3.4 Частотний перетворювач однофазної напруги в трифазну

Електроживлення локомотивів здійснюється від однофазної мережі. Однофазна напруга можна перетворити на трифазну керовану напругу живлення асинхронного електродвигуна. Така система може бути використана замість фазокерованого випрямляча у комбінації з електродвигуном постійного струму.

У схемі, показаній рисунку 1.7, використовуються три комутатора змінного струму. Тиристор 1, включений у фазу А, включається на момент часу t_0 і примусово вимикається в момент часу за рахунок включення тиристора 5. Аналогічним чином проводиться управління тиристорами у фазах і З з затримкою на 120° і 240° , відповідно, по відношенню до фази А.

Напруга на фазі З назад по відношенню до вхідної напруги, що дозволяє отримати на виході трифазна напруга при однофазному вхідному напрузі. З метою мінімізації гармонійних складових вихідну напругу перетворювача необхідно відфільтрувати.

Аналіз роботи трифазного мостового керованого випрямляча без урахування комутації

Одним з основних елементів побудови схеми перетворювача частоти є керований випрямляч, який служить для керування випрямленою напругою.

Схема та діаграми, що пояснюють роботу трифазного мостового випрямляча при куті керування $\alpha = 0$, наведено на рисунку 1.8 та 1.9. Розглянемо принцип дії схеми при активному навантаженні (ключ *До замкнутий*).

Постійна складова випрямленої напруги (середнє значення) обчислюється для інтервалу повторюваності випрямленої напруги, що дорівнює $\pi/3$:

$$U_d = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{6} U_2 \sin \omega t d\omega = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2, \quad (1.1)$$

де U_2 - діюче значення напруги вторинної обмотки трансформатора.

Вираз (1.1) справедливий для активного та активно-індуктивного навантажень. При $\omega L_d = \infty$ робота тиристорів у схемі характеризується такими параметрами:

максимальним значенням зворотної напруги на тиристорі, що дорівнює амплітуді лінійної напруги вторинної обмотки

$$U_{R\max} = \sqrt{2} U_{2,l}; \quad (1.2)$$

максимальним значенням струму тиристора

$$I_{\max} = I_d; \quad (1.3)$$

середнім значенням струму тиристора

$$I_{TAV} = \frac{I_d}{3}. \quad (1.4)$$

Робота схеми з кутом керування $\alpha > 0$.

У трифазній бруківці схеми імпульси управління надходять на тиристори із затримкою на кут α щодо нульових значень лінійної напруги або моментів перетину синусоїд напруг фаз (рис. 1.10).

Внаслідок затримки моментів комутації середнє значення випрямленої напруги знижується. Доки крива миттєвих значень випрямленої напруги u_d

При активному навантаженні; 2 - при активно-індуктивній навантаженні. При зміні кута α від 0 до $\pi/3$ регулювальні характеристики для активної та активно-індуктивного навантаження описуються формулою (1.5). При кутах $\alpha > \frac{\pi}{3}$ і активно-індуктивного навантаження, що забезпечує режим роботи з безперервним струмом i_d , регулювальна характеристика аналітично також описується виразом (1.5). Заштрихована область (див. рис. 12) відповідає сімейству регулювальних характеристик у режимі з переривчастим струмом i_d при різних значеннях кута.

Потрібно помітити, що в ПЧ, як правило, немає необхідності використовувати керовані реверсивні випрямлячі, оскільки такі системи автономні і повертати енергію в генераторних режимах просто нікуди. У подібних випадках часто використовують блоки гальмівних резисторів, на яких розсіюється енергія, що виділяється в генераторних режимах роботи ГЕД, а випрямлячі створюються на основі некерованих силових вентилів – діодів. Це спрощує конструкцію та управління, а також збільшує надійність системи.

1.4 Аналіз комутаційних процесів у багатофазних схемах випрямлення

В реальних умовах, коли $x_a \neq 0$, тобто. кожна обмотка трансформатора характеризується омичним індуктивним опором, відмінним від нуля, у всіх багатопульсних схемах утворюються КЗ-контури, що залучають в роботу одночасно не 2, а 3 і більше тиристора. У найпростішому випадку (наприклад, при $\alpha = 0$) момент комутації одночасно працюють три тиристри.

Розглянемо схему заміщення, що відповідає моменту часу, що дорівнює u_{α} , тобто, момент перемикання одного з тиристорів катодної групи VI та V3.

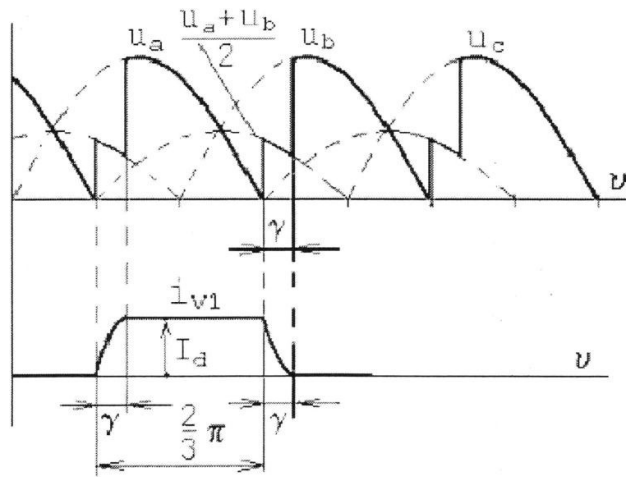


Рисунок 1.14 - Епюри напруги на навантаженні з урахуванням комутації

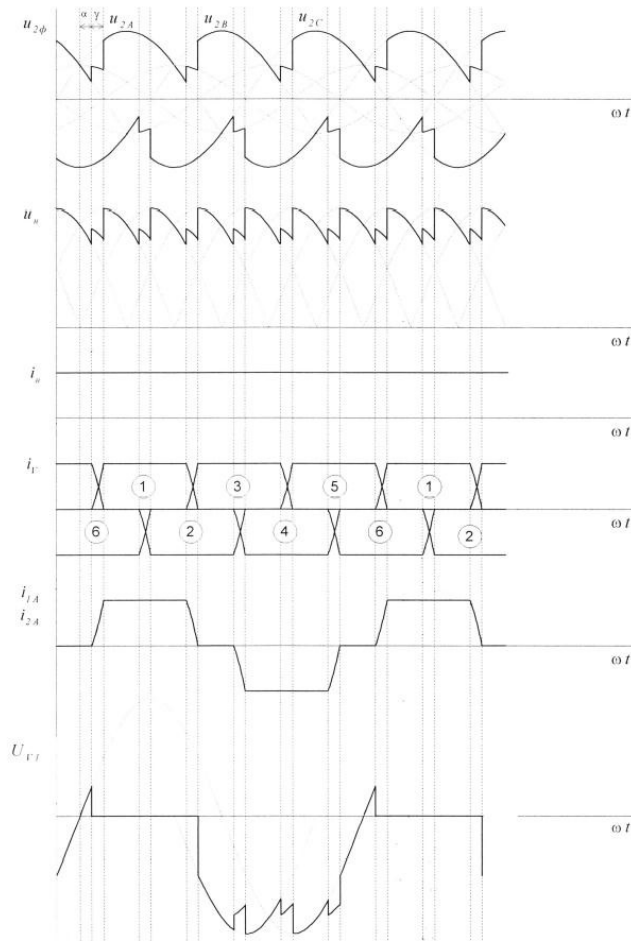


Рисунок 1.15 - Часові діаграми керованого випрямляча

| | | | | |
|--|--|----------|--------|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | № локум. | Пілпис | |

1.5 Зовнішня характеристика перетворювача

Зовнішня характеристика трифазного статичного перетворювача може бути представлена сімейством кривих, кожна з яких залежить від кута управління. Кут комутації можна визначити за виразом (2). При цьому у для $\alpha = 0$ визначається як $\arccos(1 - I_d 2 x_a / U_{2 \text{ lm ax}})$. Очевидно, що кожен тиристор проводить певний інтервал часу, званий інтервалом провідності λ , визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{2\pi}{3} + \gamma.$$

Оскільки залежить від струму навантаження і збільшується, зі збільшенням його зовнішня характеристика СП істотно змінюється. Отриманий вираз та криві характеризують перший інтервал зовнішньої характеристики, для якої струм навантаження не більше номінального струму, при цьому λ не більше $\pi / 3$ і, отже, інтервал провідності $\lambda < \pi$. Для цього випадку в момент комутації працюють два чи три тиристора. У разі зростання струму навантаження величина γ досягає $\pi / 3$, і стійко одночасно постійно починають працювати три тиристори. Подальшого збільшення кута γ не відбувається, однак, інтервал провідності може стати більшим π через створення таких умов, коли включається четвертий тиристор матиме потенціал на аноді, позитивним стосовно його катоду, цим відкриваючи четвертий тиристор, тобто. настає момент одночасної роботи чотирьох тиристорів. У цей інтервал часу навантаження стає закороченим будь-якими двома тиристорами. Напряга на ній U_d стає рівним нулю. Рівняння цієї ділянки зовнішньої характеристики набуває вигляду еліпса:

Нехай кожна стійка перемикається таким чином, кожен транзистор відкритий половину періоду вихідної напруги. Кожна сусідня стійка відстає (випереджає) на третину періоду цю стійку. Тоді в точках 1, 2, 3 будуть однополярні імпульси напруги, як показано на рисунку 18 (б). Схема перемикачів ключів наведено на рисунку 18, (а).

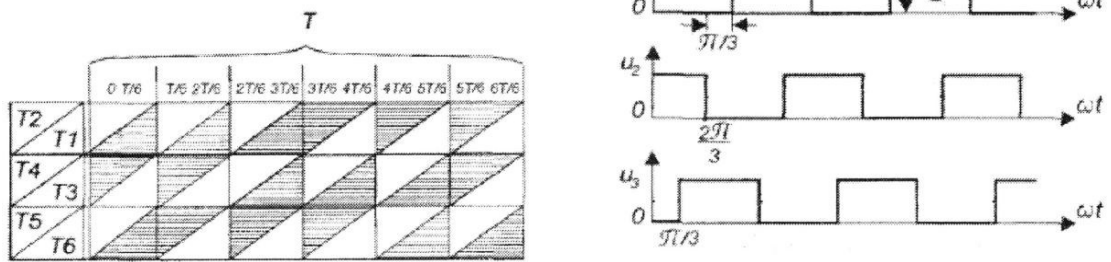


Рисунок 1.18 - Порядок перемикачів транзисторів (а), діаграми напруги в точках 1, 2, 3 (б).

Штрихуванням рисунку 1.15, а) показано відкритий стан транзистора. Видно, що весь період розділений на 6 частин, і кожену 1/6 частину відбувається перемикачів в одній із стійок.

На рисунку 1.19. представлений АІН, підключений до симетричного активно-індуктивного навантаження. На вході використовується згладжуючий дросель з індуктивністю L_d , а ланцюги випрямленої напруги конденсатор ємністю C . [4]

На інтервалі 0-T/6 (відкриті транзистори T1, T4, T5) напруги у фазах навантаження рівні

$$u_a = u_c = U_{вх} * \frac{R/2}{R+R/2} = \frac{U_{вх}}{3}; u_b = -U_{вх} * \frac{R}{R+R/2} = -\frac{2U_{вх}}{3}.$$

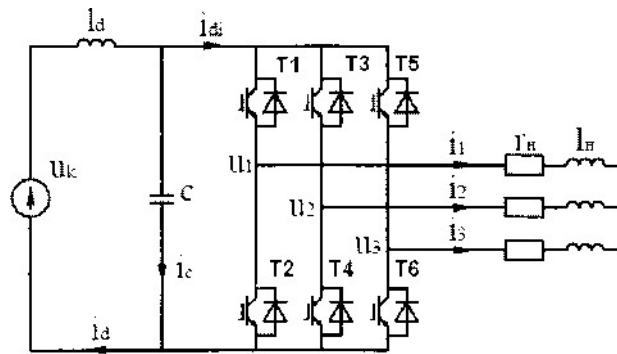


Рисунок 1.19 - Трифазний АИ із симетричним активно-індуктивним навантаженням.

На інтервалі $T/6-2T/6$ (відкриті транзистори T1, T4, T6) напруги у фазах навантаження рівні

$$u_a = U_{ex} * \frac{R}{R+R/2} = \frac{2U_{ex}}{3}; u_b = u_c = -U_{ex} * \frac{R/2}{R+R/2} = -\frac{U_{ex}}{3}.$$

Продовжуючи розглядати інтервали і замінивши навантаження на активноіндуктивну, отримаємо криві фазних напруг і струмів, як представлено на рисунку 1.20.

Активно-індуктивний характер навантаження визначає зменшений вміст вищих гармонік струму у кожній фазі.

Лінійна напруга, що діє, на виході інвертора (U_{AB}, U_{BC}, U_{CA})

$$U_{\gamma} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi/3} U_{ex}^2 d\omega t} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_{ex}.$$

Діюча фазна напруга на навантаженні

$$U_{\phi} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \left(\int_0^{\pi/3} \left(\frac{U_{ex}}{3}\right)^2 d\omega t + \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \left(\frac{2U_{ex}}{3}\right)^2 d\omega t \right)} = \frac{\sqrt{2}}{3} U_{ex}.$$

а вихідні струми складаються. Для зрівнювання струмів використовується зрівняльний реактор.

Деякі висновки, що характеризують комутаційні процеси статичних перетворювачів:

У комутаційний період завжди збільшується кількість працюючих одночасно тиристорів.

На величину кута комутації завжди збільшується інтервал провідності кожного тиристора. Тривалість протікання струму через вентилі збільшується на кут і стає рівною для трифазних схем

$$\left(\frac{2}{3}\pi + \gamma\right)$$

Відбувається падіння напруги середнього значення випрямленої

$$\Delta U_{d_{av}} = \frac{I_d x_a}{2\pi/m},$$

напруги, що дорівнює величині:

де m - Число пульсацій або комутацій у схемі. Для трифазної схеми із середньою точкою $m = 3$; для бруківки трифазної $m = 6$; для однофазних схем, як бруківки, так і з середньою точкою $m = 2$.

1.5 Висновки до першого розділу

Наведено дослідження методів частотного керування обертанням електричних двигунів. Показано різні способи і типи перетворення електричної енергії для управління двигунами. Розглядаються форми сигналів напруги і струму. Показано переваги і недоліки різних способів.

2.3 Випрямляч з LC- фільтром

Алгоритм вирішення системи ОДУ

$$\frac{dU_R}{dt} = \frac{R}{L} * (U_0 * \sin(\omega t) - U_R - U_D),$$

$$\frac{dU_R}{dt} = \frac{1}{C} \left(\frac{U_R}{R} - I_s * \left(e^{\left(\frac{q \cdot U_D}{kT} \right)} - 1 \right) \right) + U_0 * \omega * \cos(\omega t).$$

методом Рунге-Кутта 4 порядку наступний.

$$U_{R_{i+1}} = U_{R_i} + \frac{\Delta t}{6} * (K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4),$$

$$U_{D_{i+1}} = U_{D_i} + \frac{\Delta t}{6} * (L_1 + 2L_2 + 2L_3 + L_4),$$

$$K_1 = \frac{R}{L} (U_0 * \sin(\omega t_i) - U_{R_i} - U_{D_i}),$$

$$L_1 = \frac{1}{C} * \left(\frac{U_{R_i}}{R} - I_s * \left(e^{\left(\frac{q \cdot U_{D_i}}{kT} \right)} - 1 \right) \right) + U_0 * \omega * \cos(\omega t_i),$$

$$K_2 = \frac{R}{L} (U_0 * \sin(\omega (t_i + \frac{\Delta t}{2})) - (U_{R_i} + K_1 * \frac{\Delta t}{2}) - (U_{D_i} + L_1 * \frac{\Delta t}{2})),$$

$$L_2 = \frac{1}{C} * \left(\frac{(U_{R_i} + K_1 * \frac{\Delta t}{2})}{R} - I_s * \left(e^{\left(\frac{q \cdot (U_{D_i} + L_1 * \frac{\Delta t}{2})}{kT} \right)} - 1 \right) \right) + U_0 * \omega * \cos(\omega (t_i + \frac{\Delta t}{2})),$$

$$K_3 = \frac{R}{L} (U_0 * \sin(\omega (t_i + \frac{\Delta t}{2})) - (U_{R_i} + K_2 * \frac{\Delta t}{2}) - (U_{D_i} + L_2 * \frac{\Delta t}{2})),$$

$$L_3 = \frac{1}{C} * \left(\frac{(U_{R_i} + K_2 * \frac{\Delta t}{2})}{R} - I_s * \left(e^{\left(\frac{q \cdot (U_{D_i} + L_2 * \frac{\Delta t}{2})}{kT} \right)} - 1 \right) \right) + U_0 * \omega * \cos(\omega (t_i + \frac{\Delta t}{2})),$$

$$K_4 = \frac{R}{L} (U_0 * \sin(\omega(t_i + \Delta t)) - (U_{R_i} + K_3 * \Delta t) - (U_{D_i} + L_3 * \Delta t)),$$

$$L_4 = \frac{1}{C} * \left(\frac{(U_{R_i} + K_3 * \Delta t)}{R} - I_s * \left(e^{\left(\frac{q * (U_{D_i} + L_3 * \Delta t)}{kT} \right)} - 1 \right) \right) + U_0 * \omega * \cos(\omega(t_i + \Delta t)).$$

У цьому для $i=0$ $U_{RO}=0$ і $U_{do}=0$ (початкові умови). [5]

2.4 Математична модель інвертора у фазних змінних

Отримана трифазна система фазної напруги навантаження інвертора утворює врівноважену систему напруг, оскільки

$$u_A + u_B + u_C = 0$$

У той же час трифазна система фазної напруги плечей інвертора, що відраховується щодо умовної середньої точки 0 джерела входної напруги, вже не є врівноваженою, так як

$$\frac{1}{3} (u_{A0} + u_{B0} + u_{C0}) = u_0$$

Між нульовими точками джерела та навантаження виділяється напруга потрібної частоти u_0 яке є напругою нульової послідовності трифазної системи і дорівнює сумі гармонік, кратних трьом, що містяться у фазному напруженні плечей інвертора i_{A0} , i_{B0} , i_{C0} -

Використовуючи співвідношення, можна побудувати форму струму на вході інвертора за відомою формою струму у фазах навантаження, що визначається заданою формою напруги на навантаженні.

Для знаходження форм струмів у транзисторі і діоді ключів моста через струми фаз висловимо струм транзистора, враховуючи його односторонню провідність, за допомогою його комутаційної функції, наприклад для фази А:

$$i_{VT_4} = \frac{1}{2} (i_A \psi_4 + |i_A| \psi_4) = \psi_4 \frac{i_A + |i_A|}{2}.$$

Тоді струм зустрічно-паралельного зворотного діода визначається так:

$$i_{VD_4} = \psi_4 \frac{|i_A| - i_A}{2}$$

Ці два співвідношення дозволяють розрахувати завантаження вентилів за середнім і діючим значенням анодного струму функції струмів фаз навантаження і прийнятого алгоритму управління вентилями, що визначає вид комутаційної функції вентилів.

На рисунку 2.1 показані діаграми, що ілюструють вид введених комутаційних функцій та побудованих за їх допомогою струмів вентилів та входу інвертора при синусоїдальній ШІМ.

Перша діаграма показує алгоритм формування комутаційної функції перемикання (КФП) трьох фаз інвертора ψ_{A0} , ψ_{B0} , ψ_{C0} зображених на трьох наступних діаграмах. Перемикання КФП відбувається за моментами порівняння симетричної трикутної опорної напруги ma_{on} з синусоїдальною модулюючою напругою ma_{mod} відповідної фази, в результаті чого реалізується двополярна синусоїдальна двостороння ШІМ з кратністю $N=12$. За діаграмами КФП слідує діаграма КФФ фази А, що визначає форму фазної напруги і струму інвертора фази А, а за ними зображена КФЛ, що формує криву ліній. На наступних трьох діаграмах наведені форма струму транзистора VT_4 струм діода VD_4 і струм на вході інвертора і n. При побудові діаграм струмів вважалося, що струми у фазах навантаження представлені своїми

гладкими складовими (тут співпадають зі своїми першими гармоніками). При активно-індуктивному навантаженні на виході інвертора перша гармоніка струму у фазі відстає від першої гармоніки напруги фази на кут $(\varphi_{(j)})$.

З діаграми вхідного струму інвертора i_{ex} слід, що це струм, по-перше, має розривний (стрибкоподібний) характер і, по-друге, на коротких інтервалах часу може змінювати свій знак. Тому джерело вхідної напруги має бути безіндуктивним і, крім того, здатне пропускати імпульси струму в обох напрямках. Ці вимоги відповідають лише акумулятору. Якщо ж постійна напруга виходить із виходу випрямляча, то на вхід інвертора необхідно увімкнути конденсатор фільтра, через котрий і замкнуться стрибки вхідного струму, яке гладка складова замкнеться через випрямляч.

На останніх трьох діаграмах наведено модуль узагальненого вектора напруги інвертора та його реальна та задана фази, що відраховуються в межах одного повного обороту узагальнених векторів у комплексній площині.

2.5 Математична модель інвертора при перетворенні координат (в ортогональні двофазні)

Розглянута математична модель інвертора побудована у фазних координатах, які є природними і дають реальні напруги та струми в моделі та реальній установці. Водночас модель у фазних координатах має недоліки:

Труднощі розрахунку електромагнітних процесів у такій моделі, коли навантаження містить змінні параметри. Таким поширеним навантаженням інвертора є машини змінного струму (асинхронні і синхронні), модель яких, як відомо з теорії електричних машин, має параметри (індуктивності обмоток), що періодично змінюються, навіть при роботі машини в встановленому режимі.

Число каналів управління інвертором (три модулюючих сигнали при ШІМ для трифазного інвертора зі з'єднанням навантаження в зірку без нуля або трикутник) перевищує число незалежно регульованих змінних (струми двох фаз навантаження, так як струм третьої фази однозначно визначається через струми двох фаз відповідно до першого законом Кірхгофа).

Ці недоліки природних координат для даного об'єкта можна усунути повністю або частково, якщо перейти до моделі інвертора в ортогональній системі координат або, що аналогічно, моделі інвертора в площині комплексного змінного, званої моделлю інвертора для узагальнених векторів.

Для трифазної симетричної системи синусоїдальної напруги одиничної амплітуди узагальнений вектор у площині комплексної змінної напруги буде представлений вектором одиничної амплітуди, який рівномірно обертається зі своєю кутовою частотою.

При прямокутно-ступінчастій формі вихідної напруги трифазного інвертора (див. Рисунок 2.1) для модуля узагальненого вектора отримуємо одиницю у всіх станах, а фаза узагальненого вектора стрибком збільшується на 60° при кожній зміні станів, як показано на рисунку 21. Якщо зобразити узагальнений вектор комплексної площини, то він матиме шість дискретних положень, стрибком переходячи в моменти комутації з поточного наступного порядку (рисунок 2.2,а). Формована при ШІМ нульова пауза у вихідних напругах інвертора відповідає стану, коли всі фази навантаження підключаються до позитивної шини джерела живлення (код стану 111) або негативної шини джерела (код стану 000).

Тут стани інвертора закодовані трирозрядним двійковим числом, де присутність одиниці у першій, другій та третій позиціях числа відповідає одиничним значенням комутаційних функцій транзисторів VT_4 , VT_6 , VT_2 моста інвертор.

2 можна отримати будь-яке положення усередненого вектора заданої величини (гладку складову), як це показано на рисунку 2.2.

За критерій оптимізації форми комутаційної функції у конкретній ситуації може бути прийнятий один із таких:

- мінімізація гармонік заданої частоти у вихідному напрузі;
- мінімізація інтегральних коефіцієнтів гармонік вихідної напруги відповідного порядку (зазвичай першого), що визначається видом навантаження;
- обмеження на заданому рівні максимальної частоти комутації вентилів.

Крім системи нерухомих ортогональних осей α , β -координат при змінній частоті напруги інвертора застосовують ортогональну систему, що обертається з довільною змінною швидкістю x , y - координат. Її важливим окремим випадком є система d , g -координат, що обертається з постійною швидкістю, що визначається частотою напруги інвертора.

Схема математичної моделі системи АІН – СД, реалізованої за допомогою програми Simulink пакету MATLAB, наведена на рисунку 23. Модель системи АІН – СД дозволяє змінювати параметри джерела живлення (напруга та частоту) за будь-яким законом управління, а також реалізувати плавний пуск двигуна з регульованою величиною часу запуску. Крім того, у моделі передбачено запуск приводу на холостому ході з наступним включенням постійного навантаження M_c .

На рисунку 2.4, а-б представлені результати моделювання частоти обертання та моменту при плавному пуску з начерком навантаження. На рисунку 25 показано осцилограма струму статора. Як бачимо, вищі гармоніки напруги, що мають місце при регулюванні напруги шляхом зміни тривалості

відкритого стану транзисторів інвертора, у тому числі за допомогою ШІМ є причиною пульсацій електромагнітного моменту.

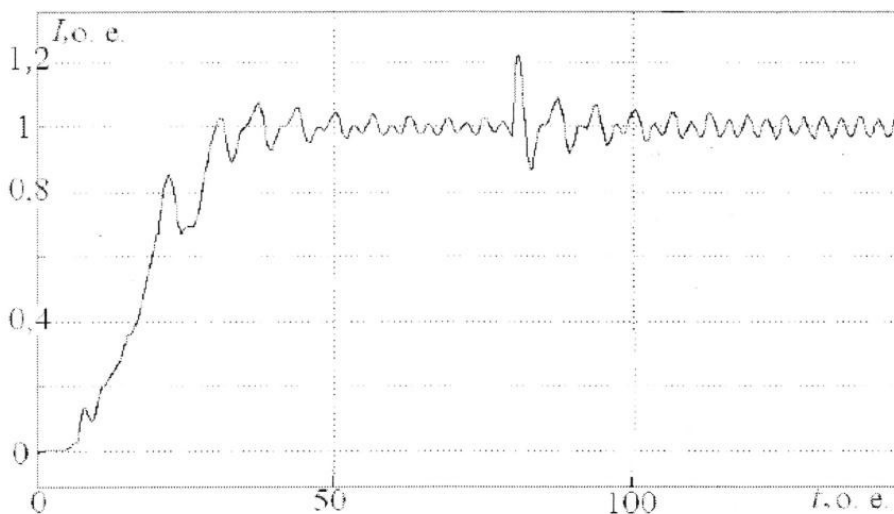


Рисунок 2.3 -Імітаційна модель системи АНН – ЦД.

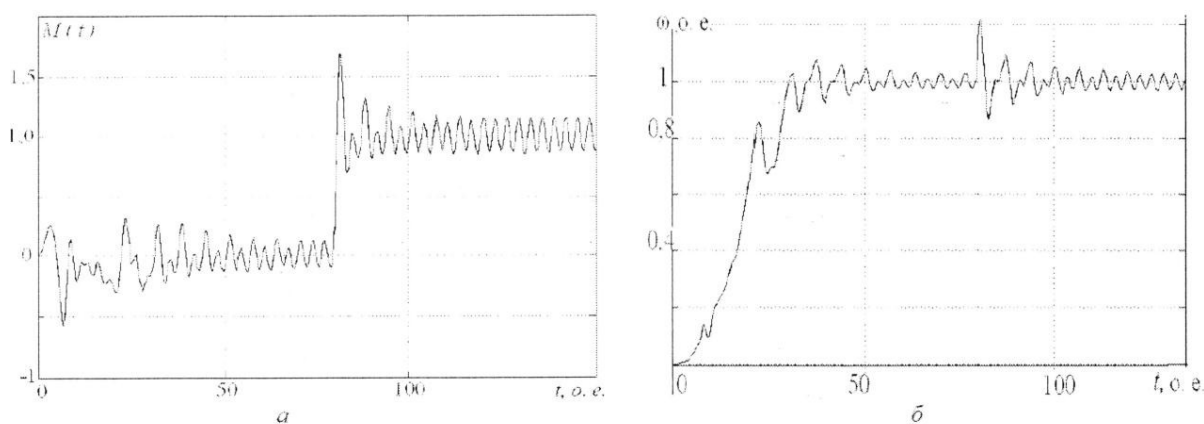


Рисунок 2.4- Часові характеристики моменту (а) та частоти обертання (б), отримані при імітаційному моделюванні АНН – СВ Д.

У цьому середнє значення моменту визначається першої гармонікою напруги мало залежить від наявності вищих гармонік. У той же час його пульсації значно більші, ніж при синусоїдальній напрузі.

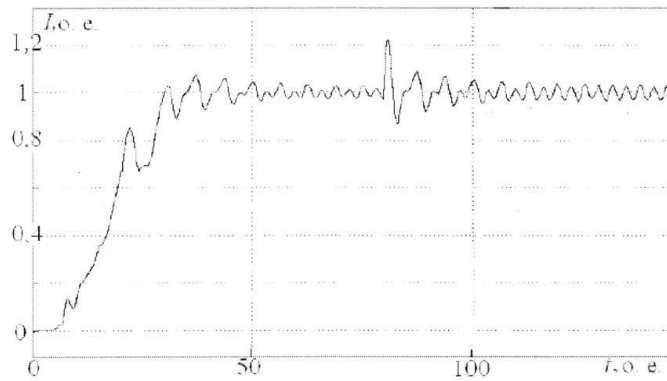


Рисунок 2.5- Часова характеристика струму статора при плавному пуску та накиданні навантаження.

Амплітуда пульсацій практично пропорційна амплітуді найвищих гармонік. Співвідношення між середнім та миттєвим значеннями електромагнітного моменту необхідно враховувати при проектуванні двигунів, що працюють від джерел живлення з несинусоїдною напругою.

Наявність нелінійного навантаження змінює гармонійний склад вихідної напруги та струмів регульованих перетворювачів частоти, що впливає на енергетичні показники як перетворювача, так і навантаження. Імітаційне моделювання спільної роботи АІН та динамічного нелінійного навантаження (СД) дозволяє вибрати такий гармонійний склад напруги джерела живлення, при якому пульсації моменту мінімальні. Цьому відповідає найбільш раціональний тип перетворювача із ШІМ.

Провівши аналіз математичних моделей представлених вище, можна зробити висновок.

У чисельних методах крок за часом повинен вибиратися, з одного боку, меншим не менш ніж на порядок періоду змінної напруги, що дорівнює $1/f$ а, з іншого боку, менше характерного часу найшвидшого процесу, що відбувається у схемі. Розрахунки повинні вестись для інтервалу часу не менше 10 періодів змінної напруги.

З математичної моделі інвертора у фазних змінних випливає, що у трифазному мостовому інверторі фазна напруга на навантаженні визначається комутаційними функціями ключів анодної (катодної) групи всіх трьох фаз. Це зумовлює специфіку управління інвертором напруги при ШІМ, яка полягає в тому, що неможливо керувати напругою в кожній фазі, впливаючи лише на один канал управління ключами цієї фази.

У математичній моделі інвертора при перетворенні координат (в ортогональні двофазні) синтез алгоритму управління інвертором змістовно зводиться до завдання порядку зміни станів (черговості комутацій вентилів) та тривалостей перебуванн у кожному з них.

Формально синтез алгоритму управління інвертором зводиться зрештою до синтезу трьох комутаційних функцій фазних напруг у площині дійсних змінних або одного узагальненого вектора комутаційної функції фазної напруги.

Моделювання спільної роботи регульованих перетворювачів частоти та нелінійного навантаження типу електричної машини змінного струму дозволяє змінювати параметри джерела живлення (напруга та частота) за будь-яким законом управління, а також реалізувати плавний пуск двигуна з регульованою величиною часу пуску.

Було використано метод математичного моделювання інвертора при перетворенні координат (в ортогональні двофазні).

2.4 Висновки до другого розділу

Наведено різні математичні моделі частотних перетворювачів. Показано взаємозалежність між вхідними і вихідними параметрами. Розглядаються питання спектрального складу сигналу внаслідок частотного керування електричними двигунами.

- трьохфазний транзисторний міст (на IGBT транзисторах Three-Level Bridge)
- блок для вимірювання гармонічних складових струму живлення (Fourier II), постійної складової (середнього значення) струму навантаження (Fourier I0), напруги на навантаженні (Fourier U0);
- блок для спостереження та вимірювання миттєвих значень величин, вибраних у полі Measurement відповідних блоків (Multimeter);
- шестипульсний генератор (Synchronized 6-Pulse Generator)
- генератор дискретних імпульсів (Discrete PWM Generator)
- вимірювачі миттєвих струмів (I) та миттєвих напруг на виході інвертора (U);
- блок для спостереження миттєвих значень струму та напруги в ланцюзі (Scope);
- блок для вимірювання випрямленого амплітудного значення струму та напруги (Display).

У лабораторній роботі як джерело використовується джерело трифазної синусоїдальної напруги (Three-Phase Programmable Voltage Source). Вікно налаштування його параметрів показано на рисунку 26. У полях налаштування задається чинне значення лінійної напруги (Phase-to-phase rms voltage (V)). в вольтах, початкова фаза напруги (Phase angle of phase A (Degrees)) в градусах, частота напруги (Frequency, Hz) у герцах, з'єднання фаз джерела (Internal connection), внутрішні параметри джерела (опір в Омах та індуктивність в Генрі).

У першому полі вікна налаштування (Variable name) введено назву змінної для запису виміряного вектора у робочий простір. У другому полі (Limit date points to last) вводиться гранична кількість кроків моделювання, тобто визначена довжина вектора (кількість записаних значень змінної, що досліджується). Довжина вектора має бути пов'язана як із частотою (періодом) досліджуваного сигналу, і з часом поля Sample time. Частота досліджуваного сигналу в даному випадку дорівнює 50 Гц (період 0,02с). При часі зчитування сигналу 2-4 на періоді зчитується 100 точок. З цього випливає, що робочу область при довжині вектора 200 будуть записані два останні періоди досліджуваного сигналу.

Для отримання спектра необхідно записувати в робочу область щонайменше два періоди. За замовчуванням у другому полі визначається константа inf-, при цьому дані реєструються у всьому інтервалі моделювання. У третьому полі (Decimation – проріджування) вводиться дискретність реєстрації даних. Цифра 1 означає, що реєстрація відбувається кожному кроці моделювання. У полі Sample time вводиться величина кроку – дискретність зміни модельного часу. Час у полі Sample time має бути узгоджений з кроком моделювання у вікні параметрів моделювання. Формат вектора, в якому буде збережено дані в робочій області, встановлюється в нижньому полі вікна Save format. Блок To Workspace використовується для обробки даних у пакеті розширення Signal Processing Toolbox. У цьому дані повинні зберігатися рядково (array). Для активізації пакета розширення Signal Processing Toolbox необхідно в командному рядку Matlab ввести команду sptool. При цьому з'явиться вікно пакету розширення SPTool Signal Processing Toolbox (Рисунок 3.12).

У першій області цього вікна "Source" (Джерело) вибирається перемикач "From Workspace" (з робочого простору). У другій області вікна Import to SPTool Workspace Contents (вміст робочого простору) висвічується напис rev_3f. Далі слід натиснути кнопку зі стрілкою, яка вказує на поле введення Data. Після цього в третій області вікна в полі введення даних Import As з'явиться ім'я вибраної змінної (з блоку Multimeter), у полі Sampling frequency (частота дискретизації) необхідно ввести значення частоти, що дорівнює зворотній величині кроку моделювання.

У полі введення Name (ім'я) вказується ім'я, під яким введений вектор буде записано серед SPTool. Після натискання кнопки ОК імпорт сигналу буде здійснено, а вікно SPTool набуде нового вигляду, представленого на рисунку 3.14.

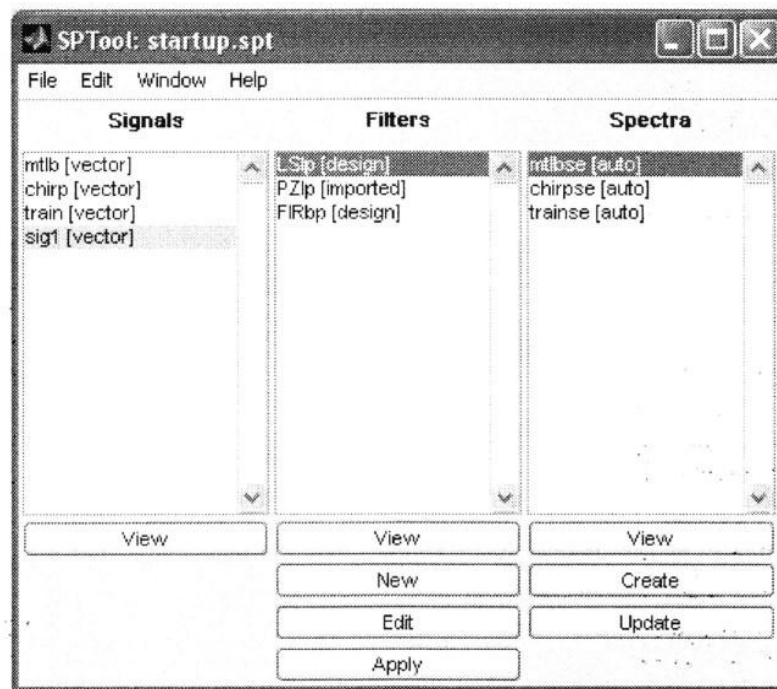
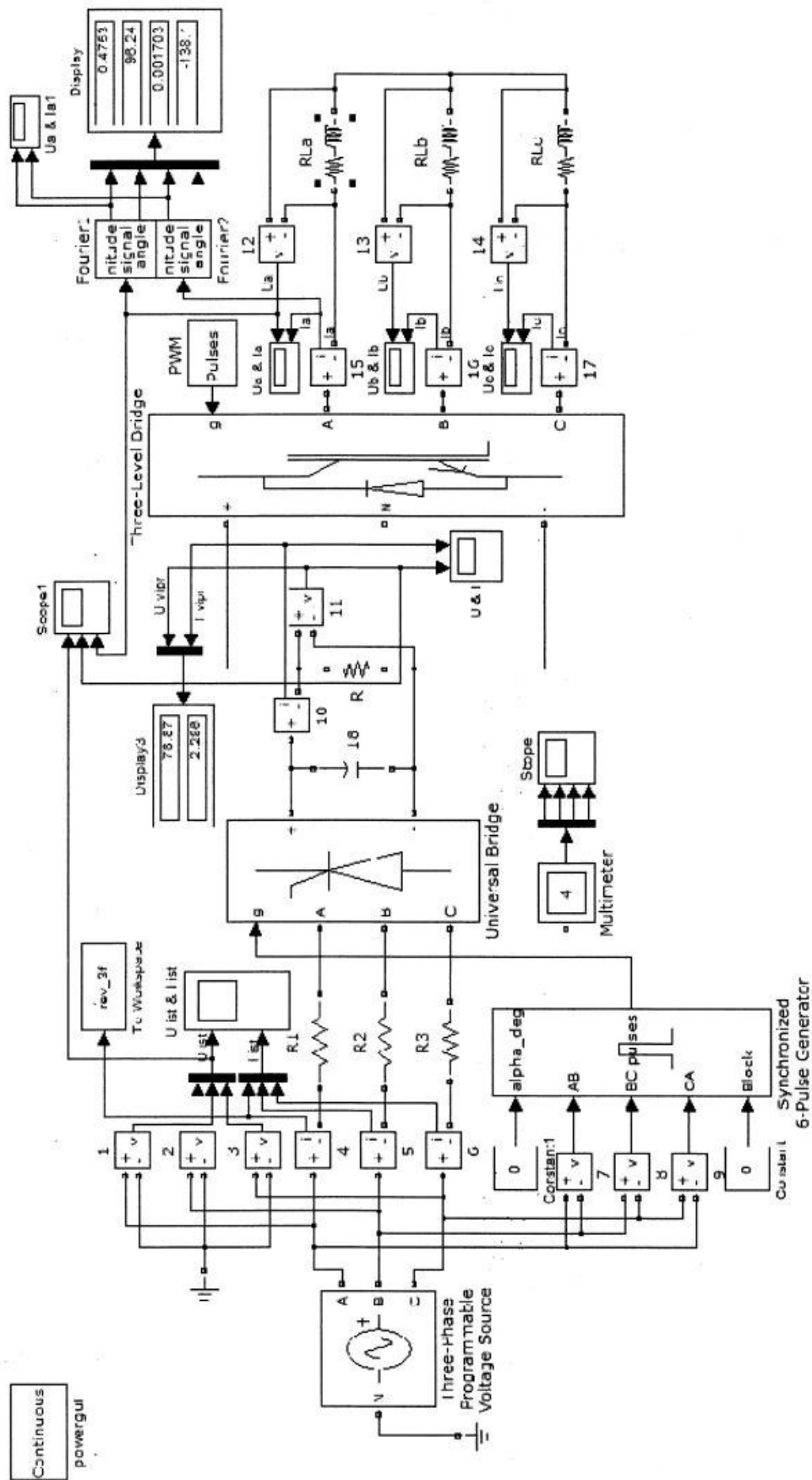


Рисунок 3.14. -. Вікно SPTool з імпортованим сигналом.



ВИСНОВКИ

Розроблено модель ПЛ зі ланкою ПТ. Отримано основні характеристики ПЛ; тимчасові діаграми струмів та напруг; регулювальні характеристики перетворювача на активно індуктивне навантаження.

Описано математичні моделі перетворювача частоти. Проведено порівняльний аналіз моделей.

Показано, що вихідний струм на навантаженні інвертора відстає по фазі від напруги на половину періоду, тому що навантаження активно-індуктивне.

Лабораторний стенд дослідження принципів роботи частотного перетворювача

Студент: В'ячеслав ЮЗВАК

Керівник: Микола ФЕДУЛА, к.т.н., доц.

ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЧ

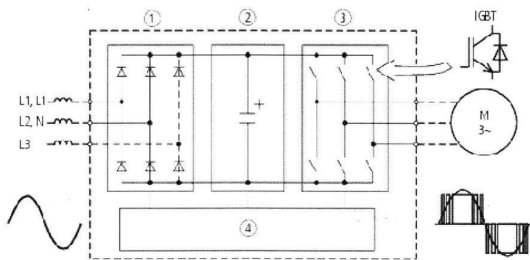
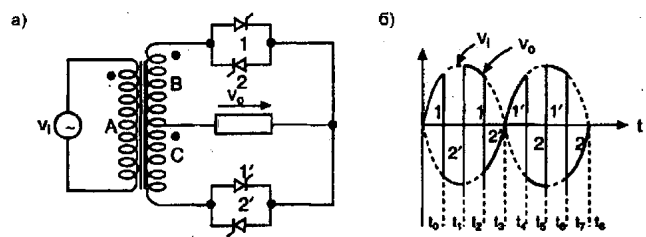
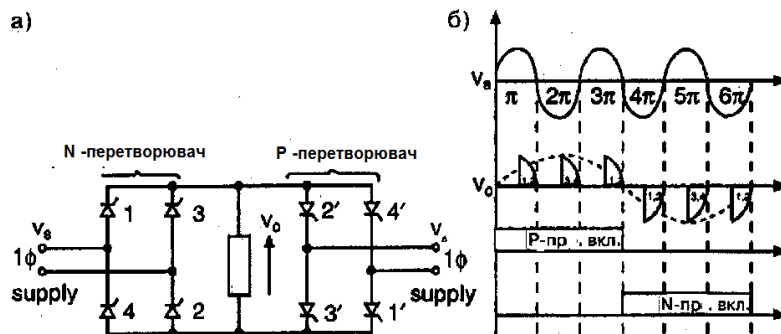


Схема перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму

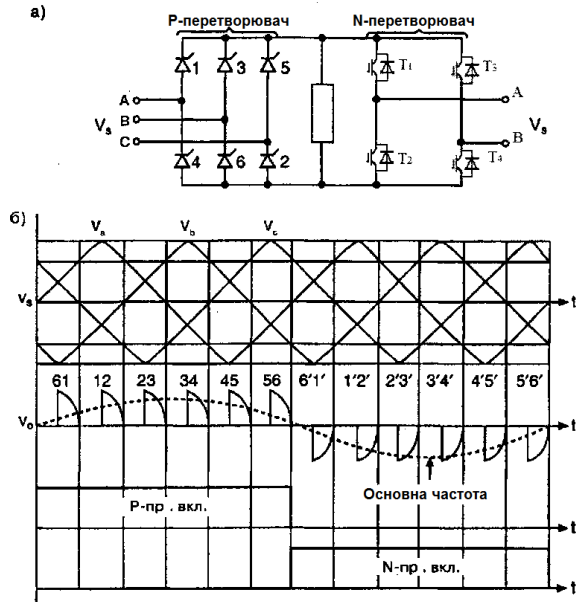


а) Структурна схема частотного перетворювача, що підвищує; б) Форми напруги

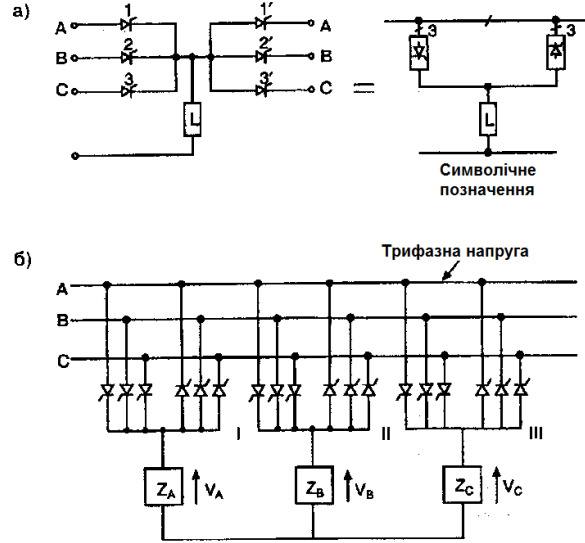


а) Структурна схема понижуючого частотного перетворювача; б) Форми напруги

ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЧ

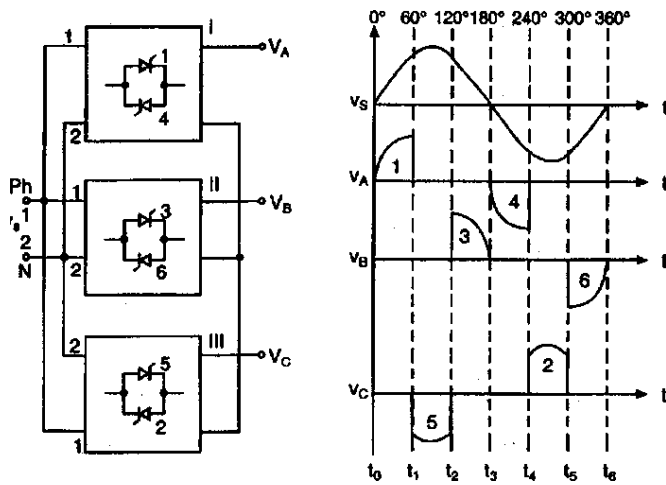


а) Структурна схема трифазного понижуючого ПЛІ;
б) Форми напруги.

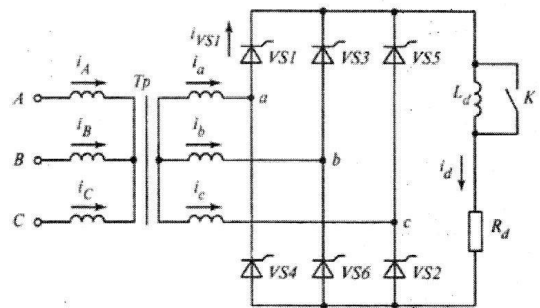


а) Структурна схема трифазного випрямляча і його символічне позначення; б) трифазної напруги

ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЧ

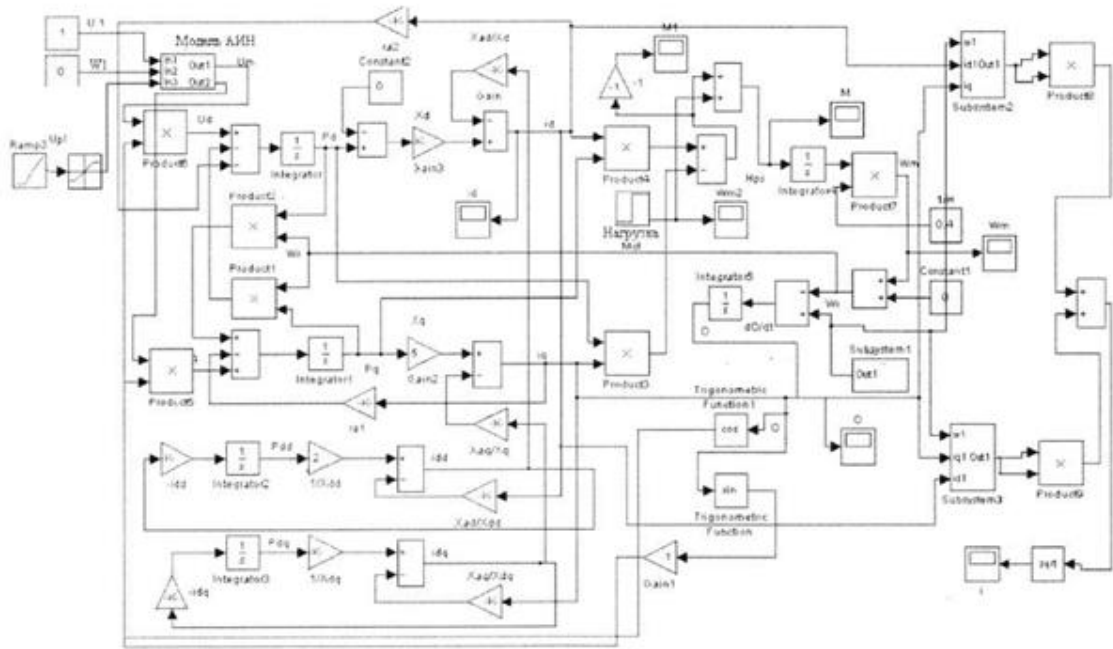


Структурна схема ЧП однофазної напруги в трифазну

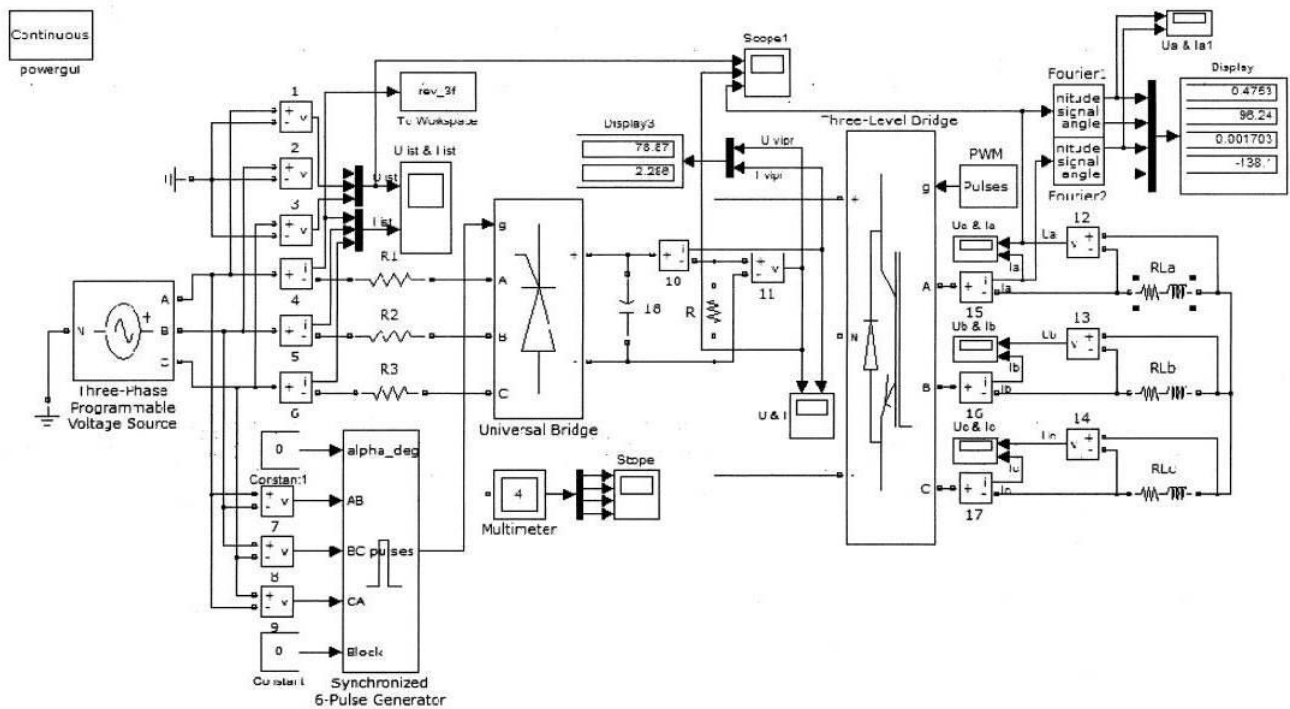


Структурна схема трифазного мостового випрямляча

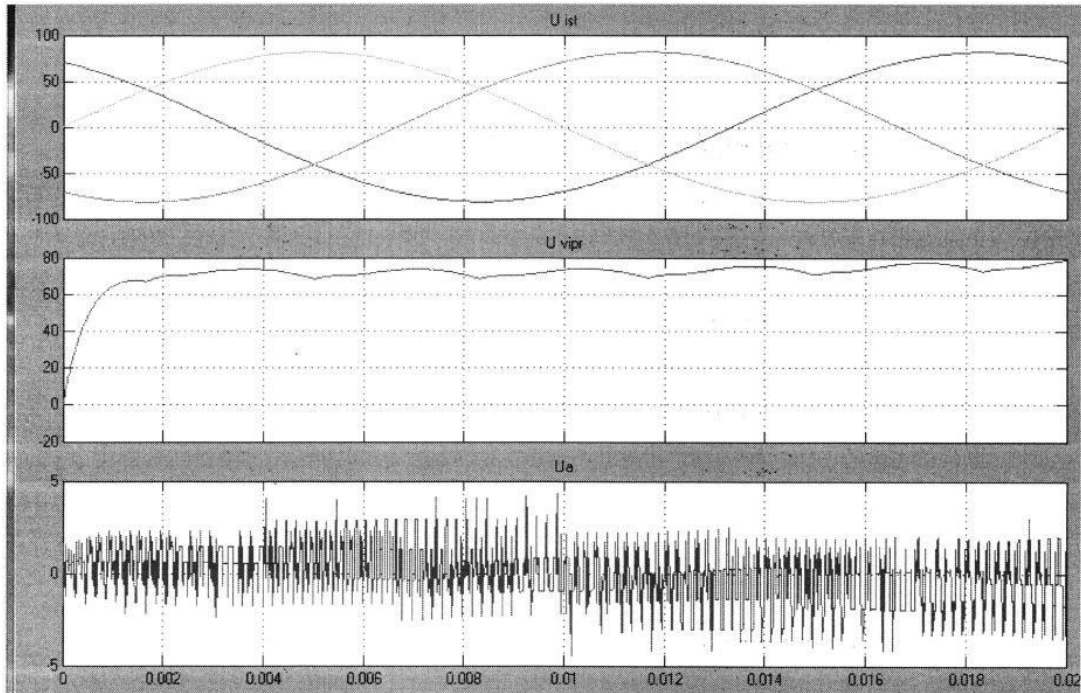
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В СИСТЕМІ MATLAB

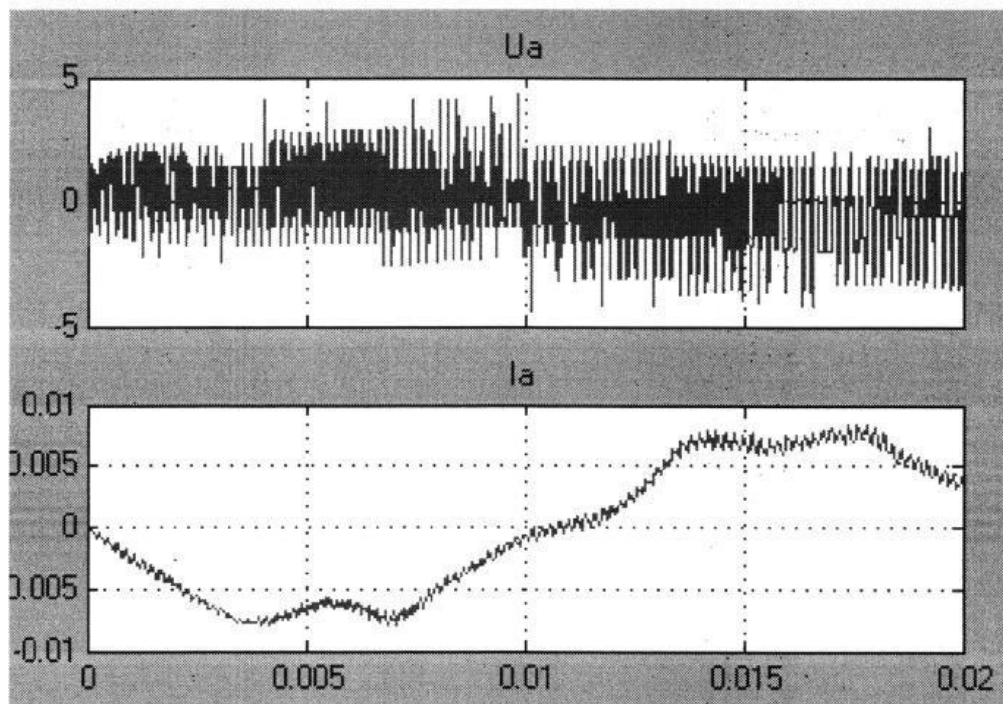


РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ



Часові діаграми трифазної напруги мережі; випрямлену відфільтровану напругу; напруга на навантаженні трифазного інвертора

РЕЗУЛЬТАТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ



Часові діаграми струму та напруги на навантаженні інвертора

• ВИСНОВКИ

Розроблено модель ПЧ зі ланкою ПС. Отримано основні характеристики ПЧ; часові діаграми струмів та напруг; регульовальні характеристики перетворювача на активно індуктивне навантаження.

Описано математичні моделі перетворювача частоти. Проведено порівняльний аналіз моделей.

Показано, що вихідний струм на навантаженні інвертора відстає по фазі від напруги на половину періоду, тому що навантаження активно-індуктивне

Доповідь закінчено.

Дякую за увагу!

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1011606251

Дата перевірки:
17.06.2022 18:18:26 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
17.06.2022 18:28:09 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: Юзвак антиплагіат

Кількість сторінок: 61 Кількість слів: 7062 Кількість символів: 54688 Розмір файлу: 3.15 MB ID файлу: 1011474773

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

2.69%
Схожість

Найбільша схожість: 1.01% з Інтернет-джерелом (<https://studall.org/all-111269.html>)

2.69% Джерела з Інтернету 16

Сторінка 63

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0%
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Підозріле форматування 13 сторінок

Anti-Plagiarism v-15.257**Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%****Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%**

| | | | | |
|--|----------|---------|-----------------------------|---------|
| ID: 105879 Назва: Бакалаврська кваліфікаційна робота Додано в БД: 2022-06-17 Автора: Юзвак В. Керівники: Федула М.В. Консультанти: Опоненти: | Документ | | Сумарний збіг по Базі Даних | |
| | Символи | Лексеми | Символи | Лексеми |
| | 51942 | 446 | 298 (1%) | 4 (1%) |

Джерело плагіату

| ID | Опис | Наявність плагіату в документі | |
|----|------|--------------------------------|---------|
| | | Символи | Лексеми |
| | | | |

МІНІСТЕРСТВО ОВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Юзвак В'ячеслав Сергійович

Тема: Лабораторний стенд дослідження принципів роботи частотного перетворювача

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи

Кількість листів креслень 0 Кількість сторінок записки 68

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження розроблена автоматизована система вимірювання параметрів частотних перетворювачів
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Дипломна робота відповідає виданому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи: У першому розділі наведено дослідження методів частотного керування обертанням електричних двигунів. Показано різні способи і типи перетворення електричної енергії для управління двигунами. Розглядаються форми сигналів напруги і струму. Показано переваги і недоліки різних способів. У змісті другого розділу кваліфікаційної роботи було наведено різні математичні моделі частотних перетворювачів. Показано взаємозалежність між вхідними і вихідними параметрами. Розглядаються питання спектрального складу сигналу внаслідок частотного керування електричними двигунами. У третьому розділі було представлено розробка моделей створених на базі пакету прикладних програм MatLab у застосунку Simulink. Показано взаємозв'язки між блоками математичної моделі. Наведено результати моделювання у програмі Simulink. Показана часові діаграми струмів і напруги сигналів керування при навантаженні двигуна.
4. Позитивні сторони роботи: Найбільшою перевагою роботи є докладний опис математичних моделей перетворювачів частоти, що дає змогу обраховувати і вибирати елементи схеми частотного перетворювача ан етапі проектування.

5. Негативні сторони роботи: - _____

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: - _____

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на високому науковому рівні

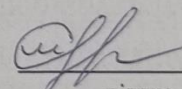
8. Інші зауваження: - _____

9. Оцінка дипломної роботи: Розглянувши представлену роботу, вважаю, що робота заслуговує оцінки задовільно 3,00 (Е)

10. Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, місце роботи) _____

Мазуренко Олександр Вікторович,
к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук

«17» серпня 2022р.


підпис

Завідувачу кафедри АКІТ
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Юзвака В.С.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи АКІТс-19-1

ЗАЯВА

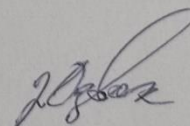
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

16.06.22

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ ПО КАФЕДРИ

АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Лабораторний стенд дослідження принципів роботи частотного перетворювача

Автор: Вячеслав ЮЗВАК

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітня програма 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Науковий керівник к.т.н., доц. Микола ФЕДУЛА

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

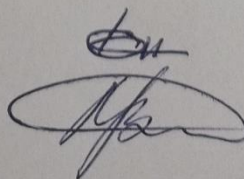
| № | Висновок | Позначка про відповідність |
|---|---|----------------------------|
| 1 | Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту. | відповідає |
| 2 | Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи | |
| 3 | Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнуті. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат. | |
| 4 | Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту. | |
| 5 | Інше: | |

Підтвердження: Запозичення у розмірі 2,69%, що виявлені в роботі, містять посилання на відповідні джерела літератури, що використані в роботі. Результати конструкторського розділу не містять запозичень. Розроблена схема електрична та її опис є унікальними та також не містять запозичень. Робота приймається до захисту.

18.06.2022р.

Науковий керівник роботи:

Зав. каф. АКІТ



Микола ФЕДУЛА

Валерій МАРТИНЮК