

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка конструкції частотного
перетворювача системи припливної
вентиляції приміщення

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу група ЕМ-21-1


Підпис

Б.О. Єременко
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

К.Т.Н., доц. П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

К.Т.Н., ст. викл. С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

К.Т.Н., доц. В.С. Неймак
Ініціали, прізвище

2 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

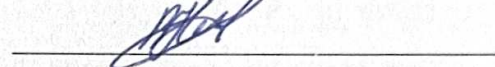
Шифр і назва

Спеціалізація _____

Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



2.06.2025

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Єременко Богдан Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення

керівник роботи Майдан Павло Сергійович, к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання та мережі

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень систем припливної вентиляції приміщень. 2. Проектування конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Загальні висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Блок-схема роботи системи керування ЧП (С6, А1). 2. АЕД із керованим випрямлячем та АІН (С2, А1). 3 Модель частотного перетворювача (С1, А1).

4. Графічна залежність природної та штучної механічної характеристик (РР, А1). 5. Система припливної вентиляції (Е3, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень систем припливної вентиляції приміщень		
2. Проектування конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення		
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент

Бесе
Підпис

Б.О. Єременко
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Майдан
Підпис

П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Енергетичний менеджмент

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Єременко Богдан Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Розробка конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг бакалаврської роботи: креслень 5 арк, сторінок записки 64

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень систем припливної вентиляції приміщень. Описана проблематика використання систем припливної вентиляції приміщень, способи керування припливною системою вентиляції приміщення та особливості використання частотно-регульованого електроприводу в припливних вентиляційних системах. В другому розділі виконано проєктування конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення. Підібрано необхідну схему частотного перетворювача для системи припливної вентиляції приміщень. Виконано аналітичні розрахунки параметрів та підбір необхідне силове обладнання для системи припливної вентиляції. В третьому розділі виконано розрахунок параметрів фільтра системи припливної вентиляції. Розроблено систему керування частотним перетворювачем системи припливної вентиляції та виконано моделювання роботи системи керування частотного перетворювача системи припливної вентиляції.

Підпис студента Боев
" 2 " 06 2025 р.

Р І Ш Е Н Н Я Е К ЗА М Е Н А Ц І Й Н О Ї К О М І С І І:

Протокол 1 від 12 06 2025 р.

Оцінка роботи ЕК 5,0/A
Рекомендації ЕК виробляється у виробничо


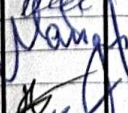


Особливі відмітки _____

Технічний секретар Бурек
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 12 " 06 2025 р.

Зміст

	с.
Вступ	5
1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень систем припливної вентиляції приміщень	7
1.1 Проблематика використання систем припливної вентиляції приміщень	7
1.2 Керування припливною системою вентиляції приміщення	12
1.3 Особливості використання частотно-регульованого електроприводу в припливних вентиляційних системах	16
Висновки до першого розділу	23
2 Проектування конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення	25
2.1 Підбір схеми частотного перетворювача	25
2.2 Розрахунок параметрів та підбір силового обладнання	32
Висновки до другого розділу	43
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність	44
3.1 Розрахунок параметрів фільтра системи припливної вентиляції	44
3.2 Розробка системи керування частотним перетворювачем системи припливної вентиляції	53
3.3 Моделювання роботи системи керування частотного перетворювача системи припливної вентиляції	58
Висновки до третього розділу	62
Загальні висновки	63
Перелік джерел посилань	64
Додатки	

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Єременко Б.О.			Розробка конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Майдан П.С.				у	4	67
Н.контр.		Пундик С.І.			ХНУ гр. ЕМ-21-1			
Затвер.		Неймак В.С.						

Вступ

Використання систем з керуванням статичними напівпровідниковими перетворювачами електроенергії, на сучасному етапі розвитку, є загальною тенденцією використання регульованого електроприводу. З розвитком виготовлення достатньо потужних силових транзисторів та подальшим розвитком мікропроцесорної техніки розвиваються умови застосування частотних перетворювачів (ЧП) з достатньо високими технічними характеристиками. Саме тому застосування частотного регулювання швидкості обертання електроприводу з використанням асинхронних електродвигунів (АЕД) зараз достатньо поширене у вентиляції та не тільки.

Сучасний етап розвитку такого виду техніки характеризується зростанням технічних характеристик ЧП за рахунок використання мікропроцесорних систем керування, спеціальних закриваючих GTO-тиристорів та силових IGBT-транзисторів, а також нових схемотехнічних рішень.

Крім того просувається робота над створенням спеціалізованих АЕД, які одразу призначено для використання із ЧП для регулювання частоти обертання. Базою для таких ЧП є, зазвичай, три фазні автономні інвертори рівня напруги з різного виду широтно-імпульсним керуванням. Зараз робота рухається по декількох напрямках: - розробка силових IGBT-транзисторів в якості модулів; - розробка GTO-тиристорів та швидко відновлювальних діодів; - розробка малоіндуктивних конденсаторів для захисту інверторів; - розробка спеціалізованих конденсаторів великої ємності для фільтрів на вхідні ланцюги інверторів; - використання нових схемотехнічних рішень у силових електричних схемах та систем керування ЧП; - розробка мікропроцесорних систем керування та спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ); - розробка оптимальних алгоритмів керування та регулювання ЧП та електроприводу.

Якщо використовувати вище перераховане то створювані ЧП та електроприводи повинні суттєво відрізнятись від стандартних виробів, а саме

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

кращими масо-габаритними характеристиками, коефіцієнтом потужності та підвищеною надійністю, кращими ККД та регулювальними характеристиками.

Саме тому розробка конструкції ЧП системи припливної вентиляції приміщення є актуальною та своєчасною задачею.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень систем припливної вентиляції приміщень

1.1 Проблематика використання систем припливної вентиляції приміщень

Загально відомо, що свіже повітря - одна з неодмінних умов нашого життя. Одна людина щодня вдихає близько до 20 тис. літрів повітря. Для нормальної працездатності нам потрібне повітря, насичене озоном, іонами та фітонцидами [1-4].

Передбачена в більшості житлових приміщень система припливної вентиляції не забезпечує необхідний для нормальної життєдіяльності повітрообмін. А після того, як у будівництві почали досить широко застосовувати монолітний бетон та герметичні склопакети, сучасні будівлі стали більше схожими на герметичні посудини, що не пропускають всередину достатньої кількості свіжого повітря.

З метою ефективного усунення різних шкідливих речовин із навколишнього повітря встановлюється спеціальне вентиляційне обладнання. Вентиляція допомагає створювати й контролювати сприятливі умови для ефективною та здоровою життєдіяльності людини (підтримання постійного рівня температури, швидкості руху повітря, рівня відносної вологості, допустимої концентрації шкідливих домішок тощо).

Вентиляційні системи, що використовуються, можна класифікувати за наступними ознаками: призначенням - припливні та витяжні; способом створення рівня тиску для переміщення повітря - з природним та штучним створенням; конструктивним виконанням - каналні та безканалні; зонами обслуговування - місцеві та загально обмінні [1-4].

Природна вентиляція - переміщення повітря в системах природної вентиляції відбувається декількома способами, а саме: від різниці рівнів тиску «повітряного стовпа» між нижнім рівнем (тобто приміщенням) та верхнім рівнем

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

(спеціальним витяжним пристроєм, установленим на криші будівлі); внаслідок різниці рівнів температури навколишнього та повітря в приміщенні; унаслідок впливу так званого вітрового рівня тиску.

Системи природної вентиляції прості у використанні і не потребують монтажу складного обладнання та додаткових витрат електричної енергії [1-4].

Механічна вентиляція – це системи із використанням спеціалізованого обладнання та приладів, які дозволяють транспортування повітря на значну відстань (електродвигуни, вентилятори, пилоуловлювачі, фільтри, повітрянагрівачі та автоматика систем керування).

Апарати штучної (механічної) вентиляції можуть забирати та постачати повітря в заданому обсязі із локальних зон приміщення незалежно від мінливості навколишнього середовища.

Такі системи вентиляції класифікуються по способу подачі/видалення повітря в приміщення на: витяжні, припливні та припливно-витяжні. Вибір системи вентиляції залежить від призначення, обсягу повітря та конкретних характеристик приміщень (план приміщення, наявна кількість людей, наявність та характер джерела забруднення повітря тощо).

Припливні системи вентиляції [1-4] – призначені для подачі/забору повітря в приміщення, повітря подається після попередньої підготовки (наприклад, нагрів/охолодження, очистка, зволоження).

Дана система вентиляції може розташовуватись в одному корпусі або збиратись із окремих елементів – фільтрів, калориферів/охолоджувачів, вентиляторів, клапанів та спеціальної системи повітропроводів та розподілювачів повітря (решіток, дифузорів тощо).

Продуктивність роботи даних систем вентиляції може бути від десятків м³/год (для міні вентиляційних систем) до декількох десятків тисяч м³/год (для централізованих припливних установок). Нагрівальний елемент повинен забезпечувати підігрів свіжого повітря від 18-20°C до рівня температури подачі в приміщення 27-29°C в зимовий період року.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

домішки розміром більше за 10 мкм. Якщо до чистоти повітря, що припливає в приміщення, висувають більш високі вимоги то додатково можуть монтуватись фільтри тонкого очищення (затримка частинок до 1 мкм) та особливо тонкого очищення (затримка частинок до 0,1 мкм). В якості матеріалу для фільтру грубого очищення використовують синтетичну тканину (наприклад, акрил), чистка фільтру повинна виконуватись не рідше як раз на місяць.

Вентилятор (рис. 1.1) – використовується для транспортування свіжого повітря приміщення та створення необхідного рівня тиску повітря в мережі повітропроводів.

Шумоглушник (рис. 1.1) – так як вентилятор який встановлено в припливній системи вентиляції є джерелом шуму, необхідно монтувати шумоглушник для того щоб не дати розійтись шуму по повітропроводам, головне джерело шуму – так звані аеродинамічні шуми, або турбулентне завихрення повітря на лопатях вентилятору.

Нагрівальний елемент (рис. 1.1) – використовується для нагрівання повітря, що подається із навколишнього середовища в зимовий період року. Може бути електричним чи водяним (рівень температури гарячої води не нижче за 70°C). Для монтажу малих припливних повітряних систем краще використовувати електричний нагрівальний елемент, так як ціна на монтаж буде нижчою. Якщо ж площа приміщення більше за 100 м² то краще до монтажу використовувати саме водяний нагрівальний елемент, для зниження витрат на використання електроенергії. Крім того для зниження витрат на нагрівання повітря використовують рекуператор, пристрій за допомогою якого холодне припливне повітря нагрівається за рахунок теплообміну з теплим повітрям, що видаляється з приміщення. Змішування повітряних потоків не відбувається.

Повітропроводи (рис. 1.1) – використовуються для транспортування свіжого повітря від вентилятора через шумоглушник до приміщень. Для цього виконується ціла мережа із повітропроводів та трійників, поворотів чи адаптерів. Головними характеристиками повітропроводів є – площа поперечного перерізу,

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

форма виробу то жорсткість виконання повітропроводів (тверді, напів гнучкі та гнучкі) (див. рис. 1.1).

Швидкість руху потоку повітря в повітропроводі не повинна перевищувати вказаного значення, інакше повітропровід стане додатковим джерелом шуму. Тому розмір повітропроводів підбирається виходячи із розрахункового значення повітрообміну і максимально допустимої швидкості руху повітря. Жорсткі повітропроводи виготовляються з оцинкованої жерсті й можуть виготовлятися круглої або прямокутної форми. Напів гнучкі та гнучкі повітропроводи мають, зазвичай, круглу форму і виготовляються із багатошарової алюмінієвої фольги. Круглу форму таким повітропроводам надає каркас зі звитого в спіраль сталевого дроту. Недоліком гнучких повітропроводів є достатньо високий аеродинамічний опір, спричинений нерівною внутрішньою поверхнею, тому їх використовують тільки на ділянках невеликої відстані.

Розподільники повітря (рис. 1.1) – за їх допомогою повітря з повітропроводу потрапляє в приміщення. Як правило, в якості таких розподільників використовують решітки (круглі або прямокутні, настінні або стельові) або спеціальні дифузори (плафони). Крім декоративних функцій розподільники повітря служать для рівномірного розсіювання повітряного потоку по приміщенню, а також для персонального регулювання величини повітряного потоку, що направляєється з мережі вентиляції в кожне приміщення.

Системи регулювання та автоматики - головним елементом системи припливної вентиляції є електричний щит, у якому зазвичай монтують систему керування припливною вентиляцією. У найпростішому варіанті виготовлення система керування припливною вентиляцією складається лише із вимикача з індикатором, що дозволяє вмикати/вимикати встановлений вентилятор [1-4].

Проте найчастіше використовують систему керування з елементами автоматики, яка вмикає нагрівальний елемент у разі зниження рівня температури припливного повітря, стежить за чистотою встановленого фільтра, керує заслінкою тощо. В якості елементів системи керування використовують

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

термостати, гігростати, давачі рівня тиску тощо.

1.2 Керування припливною системою вентиляції приміщення

Керувати сучасним обладнанням системи припливної вентиляції зручно і просто. За допомогою виносного пульта керування можна виконувати п'ятиступінчасте регулювання величини подачі повітря, в зимовий період плавно регулювати рівень температури від +5 до +28°C. Крім того, деякі прилади мають таймер, який здійснює вмикання установки в певний день тижня або, навіть, час доби [5, 6].

Крім безпосередньої подачі повітря припливна система вентиляції дає змогу провести обробку повітря відповідно до встановлених вимог з очищення, нагрівання/охолодження, осушення/зволоження для кожного окремого приміщення. В залежно від кількості приміщень системи припливної вентиляції можуть бути однозональні та багатозональні.

Також системи припливної вентиляції поділяються на два наступні класи:

- з постійною величиною витрати повітря;
- із змінною величиною витрати повітря (з можливістю регулювання по величині CO₂).

Для всіх типів систем припливної вентиляції повітря характерний наступний алгоритм обробки повітря із навколишнього середовища.

Повітря із навколишнього середовища подається в систему через заслінку, далі через шумоглушник у фільтр для очищення. Після цього очищене повітря потрапляє у рекуператор для первинного нагріву (якщо передбачено конструкцією системи), а потім у спеціальну секцію нагріву (за необхідності) або через камеру охолодження (для літнього режиму роботи). Далі потік повітря потрапляє на вентилятор, де створюється необхідний рівень тиску, та після встановлених шумоглушників транспортується в повітропровід після чого потрапляє в приміщення. Рівень температури припливного повітря вимірюється

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

каналним давачем рівня температури. Виміряний рівень температури є сигналом зворотного зв'язку для програмованого логічного контролеру (PLC), який створює сигнали керування для запірно-регулювальних клапанів секцій нагріву/охолодження системи припливної вентиляції [7-9].

Одно- та багатозональні установки припливної вентиляції із постійною величиною витрати повітря.

Особливістю використання даних систем припливної вентиляції є те, що встановлений вентилятор працює із постійною швидкістю.

Зазвичай в конструкціях таких припливних систем вентиляції виникає необхідність коригувати продуктивність вентиляторної установки через виникнення небажаних шумових ефектів чи протягів, які виникають через помилки при проектуванні мережі вентиляції будівлі. В такому випадку для керування припливним вентилятором необхідно використовувати ЧП для регулювання швидкості обертання вентилятору.

У випадку низького рівня температури навколишнього середовища буває недостатньо теплової потужності нагрівального елемента для підтримування заданого рівня температури у приміщенні. В такому випадку доцільно знизити швидкість обертання встановленого вентилятору, для того щоб досягнути встановленого рівня температури припливного повітря.

Але необхідно враховувати, що при зниженні швидкості обертання вентилятору кількість повітря, що подається в приміщення може не відповідати вимогам санітарних норм [10] інколи це може бути єдиним методом забезпечити роботу припливної системи вентиляції при гранично низьких рівнях температури. Схожа ситуація може виникати в літній період роботи системи у випадку низької потужності секції, що відповідає за охолодження повітря та, відповідно, достатньо високого рівня температури навколишнього повітря.

В такому випадку рекомендовано використовувати для керування системою вентиляції ЧП для регулювання швидкості обертання вентилятору. Тоді швидкість обертання вентилятору може регулюватись або вручну через ЧП

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

так і в автоматичному режимі, через використання PLC. Сигнал керування від PLC може бути подано в двох режимах – аналоговому (в діапазоні від 0 до 10 В, або в діапазоні від 4 до 20 мА) і в дискретному (через два наявних дискретних виводи, тобто, вісім фіксованих значень швидкості обертання).

У випадку використання фіксованих значень швидкості обертання вентилятору можна крім автоматичного режиму використовувати ручне керування через щит керування.

Припливні багатозонні установки із змінним рівнем розходу повітря [1-4] – особливістю застосування таких установок є використання або шиберів або використання спеціалізованих вентиляторів із змінним кутом встановлення лопатей (IGV - Inlet Guide Vanes). Проте рахується більш надійним використання ЧП для регулювання швидкості обертання вентилятора.

Загально відомо, що для коректної роботи припливної системи необхідно постійно підтримувати рівень статичного тиску в магістралі подачі повітря. Це можливо забезпечити за допомогою використання ЧП для регулювання швидкості обертання вентилятору, сигнали зворотного зв'язку для ЧП будемо отримувати від давача рівня тиску, що буде встановлено в повітропроводі, зазвичай на відстані в 2/3 довжини повітряної магістралі від входу.

Припливні однозонні установки із змінним рівнем розходу повітря [1-4] – в такому випадку, регулювання швидкості обертання вентилятора виконується за допомогою використання ЧП, сигнали зворотного зв'язку – по сигналу керування від давача рівня CO₂ або від давача якості повітря.

Витяжна система [1-4] – використовується для рівномірного видалення повітря із всього приміщення, зазвичай класифікують на два види – місцеві та загальнообмінні витяжні системи.

Місцеві витяжні системи – використовуються для видалення повітря із одного приміщення. Така система може працювати як окрема вентиляційна установка (наприклад, кухня) так і в тандемі із припливною вентиляційною установкою. У випадку окремого використання виникає потреба у плавному

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

регулюванні продуктивності установки – знову ж таки, застосування ЧП для регулювання швидкості обертання вентилятору.

У разі використання витяжної установки в тандемі з припливною вентиляційною установкою виникає необхідність узгодження обсягів повітря, що видаляється та подається в приміщення. При цьому рекомендується для керування обома встановленими вентиляторами використовувати ЧП для синхронного регулювання рівня швидкості обертання вентиляторів. Синхронізацію роботи двох ЧП може бути виконано за допомогою використання аналогового сигналу керування в діапазоні від 4 до 20 мА.

Загальнообмінні витяжні системи – використовуються для видалення повітря із декількох приміщень одночасно, найчастіше працює у тандемі із припливною вентиляційною установкою. Для цього необхідно узгоджувати обсяги подачі та видалення повітря в приміщення.

Припливно-витяжна вентиляційні системи застосовують для подачі та видалення повітря в усіх приміщеннях, що обслуговуються. Використання ЧП в таких вентиляційних системах надасть можливість синхронізації продуктивності припливного та витяжного вентиляторів, забезпечити достатньо швидкий процес пуско-налагодження системи і знизити рівень споживання електроенергії.

Припливно-витяжні вентиляційні системи класифікують на:

- з рекуперацією тепла повітря, що видаляється – в такій системі тепло повітря, що видаляється, за допомогою спеціального теплообмінника передається повітрю, що подається в приміщення. Якщо теплообмінник є роторним рекуператором, тоді регулювання швидкості обертання ротора виконується в залежності від рівня температури навколишнього повітря, тобто при зниженні рівня температури навколишнього повітря – швидкість обертання ротора зростає. Для плавного регулювання швидкості обертання ротора краще застосовувати ЧП з керування або від PLC або від аналогового датчика рівня температури навколишнього повітря;

- з рециркуляцією повітря – в такому випадку частина повітря, що

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

видається з приміщення, в спеціальній камері змішується із припливним повітрям, а потім виконується донагрівання повітря до потрібного рівня температури. Процес змішування виконується за допомогою використання заслінок – припливної, рециркуляційної та витяжної, для полегшення процесу керування можливо використати ЧП;

- без рециркуляції та рекуперації повітря – використовуються для створення системи з відокремленою подачею та видалення повітря з приміщення.

1.3 Особливості використання частотно-регульованого електроприводу в припливних вентиляційних системах

Загально відомо, що використання АЕД в парі з ЧП дозволяє замінити у використанні електропривід постійної сили струму. Системи керування швидкості обертання електродвигуна постійної сили струму досить прості у використанні, але мають одне вразливе місце – електродвигун, він має досить низьку надійність та досить високу вартість, відбувається зношування щіток і відповідно може виникати іскріння, а внаслідок електроерозії зношується колектор. Тому такі електродвигуни не можна застосовувати у запилених приміщеннях, тим більше якщо присутнє вибухонебезпечне середовище.

АЕД є більш простішими за конструкцією та надійністю так як не мають рухомих контактів, простіші у виготовленні, мають менші масо-габаритні розміри. Проте володіють головним недоліком – складність регулювання швидкості обертання традиційними методами (введенням додаткових опорів в ланцюги обмоток чи зміною величини напруги живлення).

Раніше керування АЕД за допомогою використання ЧП було досить важким завданням. Проте поява силових схем із використанням IGBT-транзисторів, дозволило створити ЧП з адекватною собівартістю.

Крім того, відомо, що регулювання частоти обертання виконавчих

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

механізмів можна виконувати за допомогою наступних пристроїв – гідравлічні муфти, механічні варіатори, резистори, що монтуються на статор чи ротор, статичні ЧП.

Статичні ЧП є найбільш досконалим пристроєм керування АЕД, принцип такого керування полягає в тому, що змінюючи частоту напруги живлення f_1 можливо регулювати кутову швидкість магнітного поля статора ω при сталому числі пар полюсів p згідно наступної формули [11-13]:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}. \quad (1.1)$$

Таким спосіб забезпечить плавне регулювання швидкості обертання в досить широкому діапазоні, при цьому регулювання швидкості обертання не буде супроводжуватись збільшенням проковзування, а тому втрати потужності будуть малими.

Проте для отримання високих енергетичних показників АЕД, тобто коефіцієнтів корисної дії, потужності чи здатності до перевантаження – необхідно одночасно регулювати величину напруги живлення та її частоту.

Закон зміни величини напруги живлення залежить від характеру моменту навантаження на валу M_c . Якщо ця величина є постійною $M_c = const$ величина напруги живлення на статорі повинна регулюватись пропорційно до частоти живлення [11-13]:

$$\frac{U_1}{f_1} = const. \quad (1.2)$$

У випадку вентиляторного характеру моменту навантаження на валу формула прийме вигляд [11-13]:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const. \quad (1.3)$$

Таким чином, для плавного не ступеневого регулювання швидкості обертання валу АЕД, ЧП повинен забезпечити одночасне регулювання величини напруги та її частоти на статорі АЕД.

Головними перевагами використання регульованого електроприводу в технологічних процесах є економія електроенергії за рахунок регулювання технологічного параметру. Наприклад, є технологічний процес транспортування рідини, зазвичай такий процес регулювався використанням або заслінок або регульовальних клапанів, проте на сучасному етапі розвитку почалось використання регулювання швидкості обертання валу АЕД, який приводить в рух робоче колесо насосного агрегату тощо.

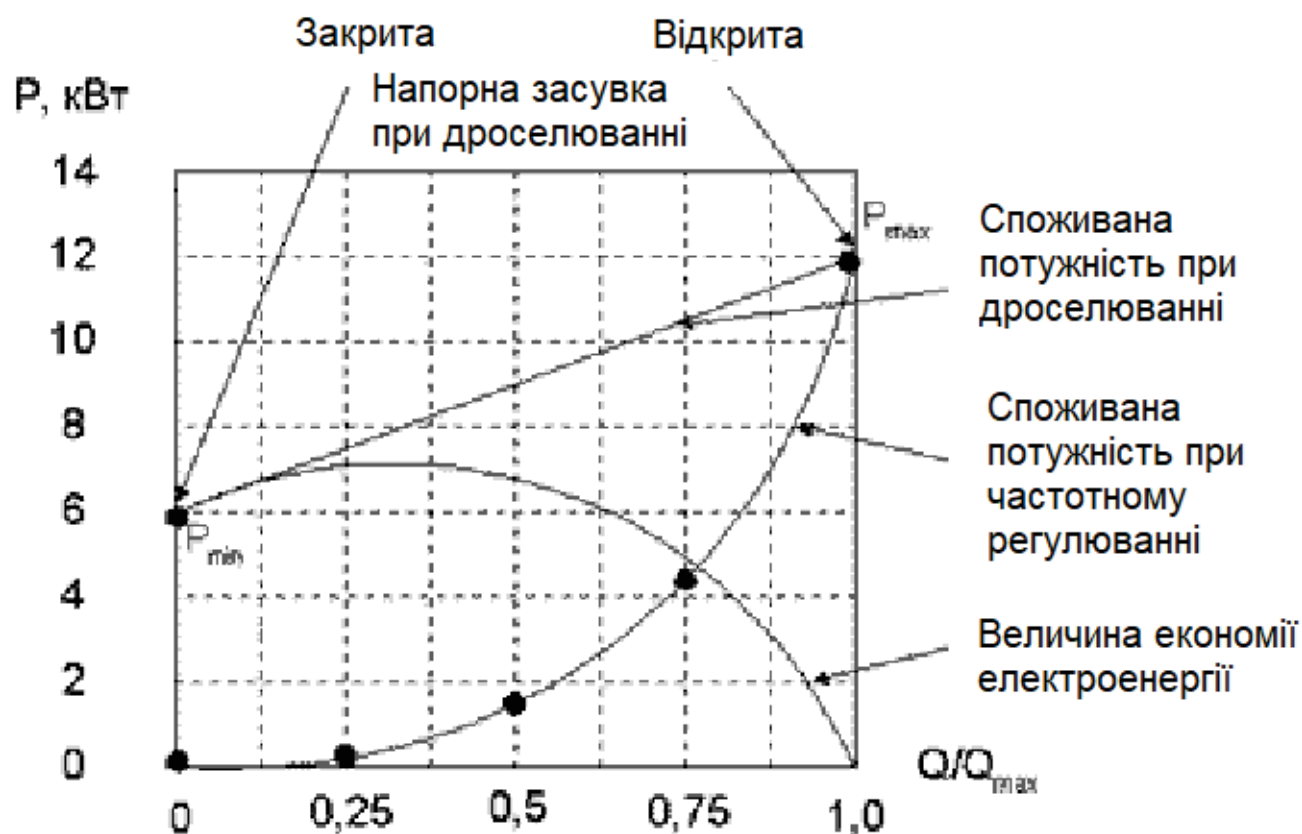


Рисунок 1.2 – Графік перспективи використання частотного регулювання

Використання регульованого електроприводу для насосу чи вентилятору

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

дозволить створити необхідну величину тиску чи витрати, що знизить втрати речовини яка транспортується та забезпечить певну економію електроенергії.

Більшість сучасних ЧП побудовано по схемі подвійного перетворення, складаються із наступних основних частин – ланцюга постійної сили струму (некерований випрямляч та фільтр), силовий імпульсний інвертор та система керування.

Ланцюг постійної сили струму використовується для перетворення змінної напруги живлення в напругу постійної сили струму для системи.

Силовий імпульсний інвертор складається із 6-ти транзисторних ключів, кожна обмотка АЕД підключається через відповідний ключ до виводів випрямляча. Інвертор використовується для перетворення випрямленої напруги в трифазну напругу змінної сили струму заданої частоти та амплітуди, для обмоток статора АЕД.

В конструкції вихідних каскадів інвертора в якості ключів використовуються силові IGBT-транзистори, якщо виконувати порівняння із тиристорами вони мають більш високу частоту перемикання, це в свою чергу дозволяє створювати вихідний синусоїдальний сигнал з мінімальними похибками.

Конструкція ЧП складається із автономного інвертора, некерованого діодного силового випрямляча В, системи автоматичного регулювання, системи керування ШІМ, конденсатора фільтра C_B та дроселя L_B (рис. 1.3).

Регулювання вихідної частоти $f_{вих}$ та величини напруги $U_{вих}$ виконується в інверторі за рахунок використання вискочастотного широтно-імпульсного керування. Таке керування характеризується періодом модуляції, всередині якого обмотка статора АЕД підключається по чергово до різних полюсів випрямляча (рис. 1.4).

Термін цих станів всередині періоду ШІМ модулюється згідно синусоїдального закону, при достатньо високих тактових частотах (в діапазоні від 2 до 15 кГц), в обмотках АЕД, будуть протікати саме синусоїдальні струми.

										Арк.
										19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 25.00.00.000 ПЗ					

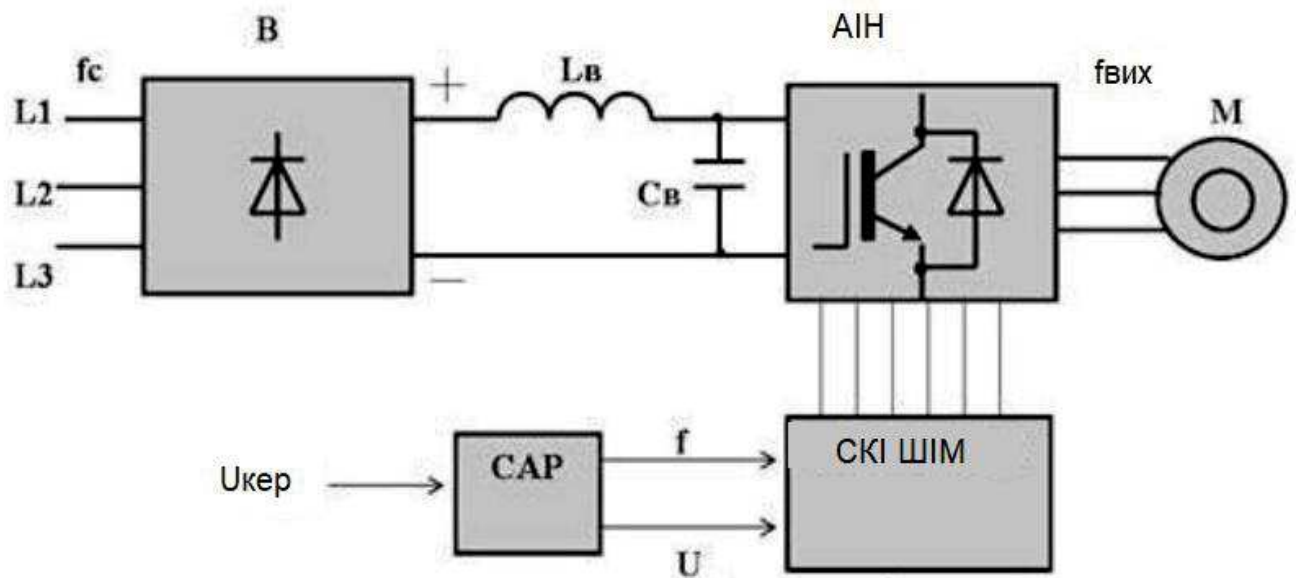


Рисунок 1.3 – Структурна схема ЧП

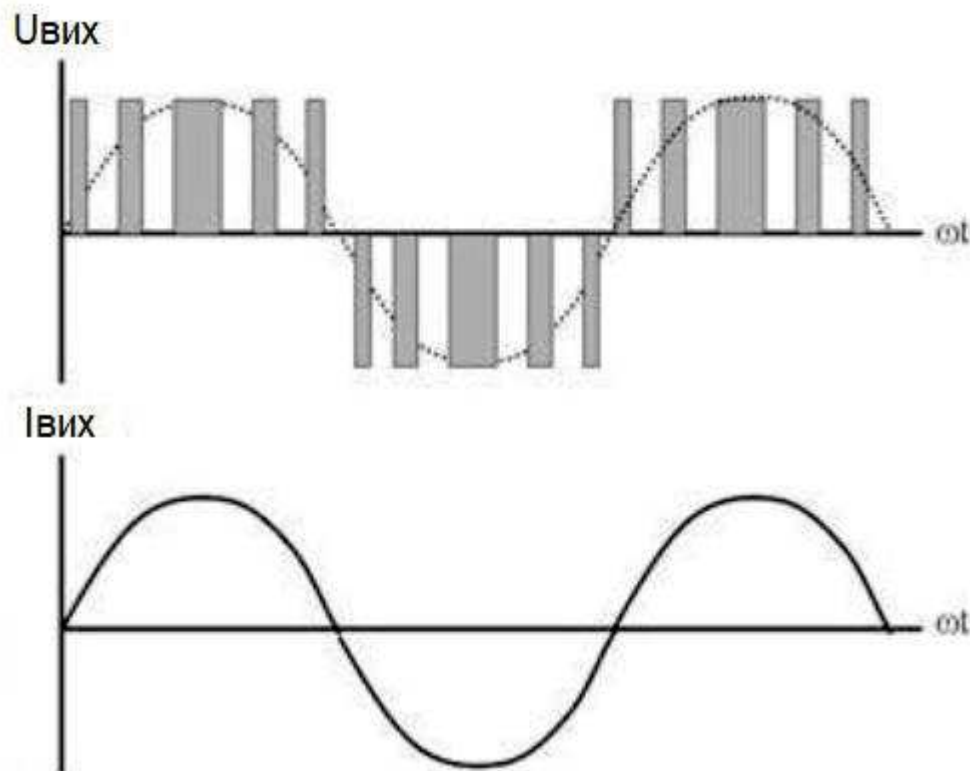


Рисунок 1.4 – Графічні залежності широтно-імпульсного керування

Тобто форма кривої величини вихідної напруги (рис. 1.4) представляє послідовність прямокутних імпульсів, яка є двополярною. Частота імпульсів залежить від частоти ШІМ, ширина імпульсів змодельована згідно синусоїдального закону. Форма кривої вихідної сили струму (тобто сили струму

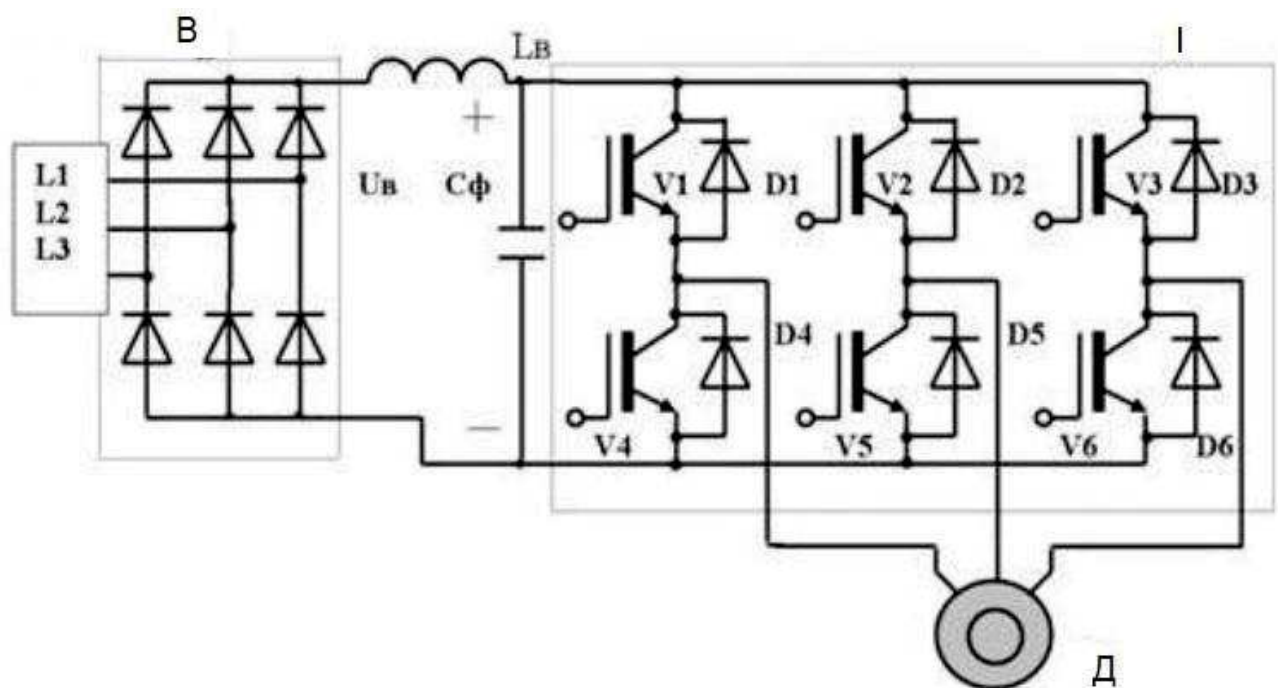
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

в обмотках АЕД) є майже синусоїдальною [11-13].

Регулювання величини вихідної напруги інвертора можна виконувати двома способами:

- ШІМ за рахунок зміни програми перемикання ключів $V_1 - V_6$ при $U_{ex} = const$;
- амплітудним регулюванням (АР) за рахунок зміни величини вхідної напруги U_{ex} .

При використанні ШІМ форма струмів в обмотках статора АЕД досить близька до синусоїдальної завдяки фільтруючим властивостям самих обмоток. Такий тип керування дозволяє отримати більш високий ККД перетворювача і майже повністю відповідає аналоговому типу керування за допомогою частоти та амплітуди напруги.



В – 3-фазний мостовий випрямляч; C_ϕ – конденсатор фільтру; І – 3-фазний мостовий інвертор

Рисунок 1.5 – 3-х фазна мостова схема автономного інвертора на IGBT-транзисторах:

Схема автономного інвертора складається із вхідного ємнісного фільтру

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
21

C_ϕ та 6 встановлених IGBT-транзисторів $V_1 - V_6$, які вмикаються зустрічно-паралельно через діоди $D_1 - D_6$. За рахунок виконання почергового перемикання $V_1 - V_6$ згідно алгоритму створеному системою керування, постійна вхідна величина напруги U_{ex} перетворюється в прямокутно-імпульсну вихідну змінну напругу. Через керовані $V_1 - V_6$ протікає активна складова сили струму АЕД, через $D_1 - D_6$ - реактивна складова сили струму.

Робота ЧП для електродвигуна [11-13]

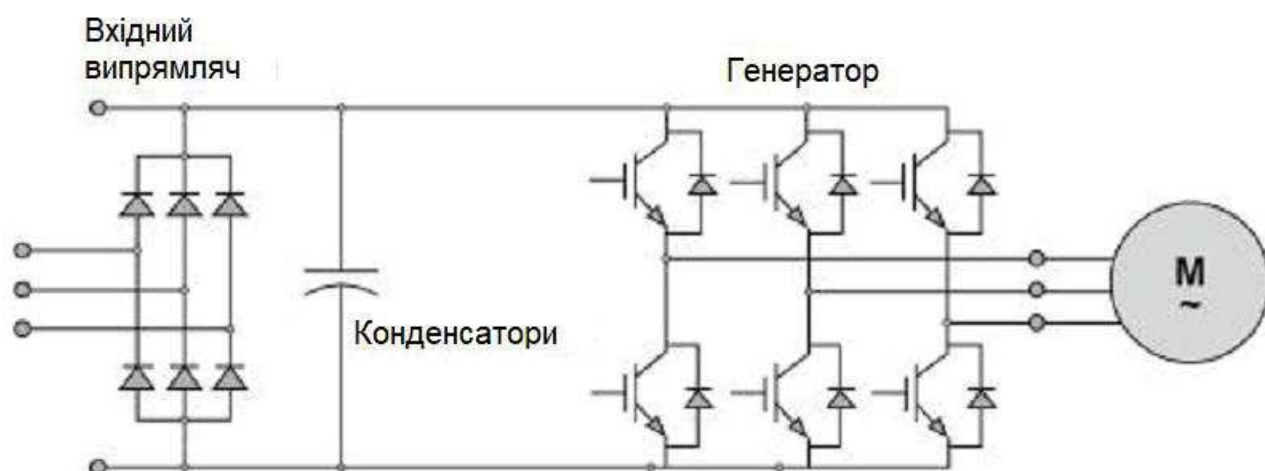


Рисунок 1.6 – Схема електрична підключення ЧП до АЕД

Змінна напруга мережі випрямляється, згладжується за допомогою конденсаторів, а потім через використання генератора формується величина напруги заданої частоти та амплітуди. Процес формування відбувається наступним чином – генератор відкриває/закриває потрібні ключі, формуючи послідовність із імпульсів різної ширини, тобто результат зовсім не синусоїда (рис. 1.7).

Проте в процесі роботи працює і АЕД, індуктивність якого призводить до певного згладжування кривої сили струму, яка є пропорційною середньому значенню величини напруги (саме тому від ЧП не можна жити навантаження без використання спеціального обладнання).

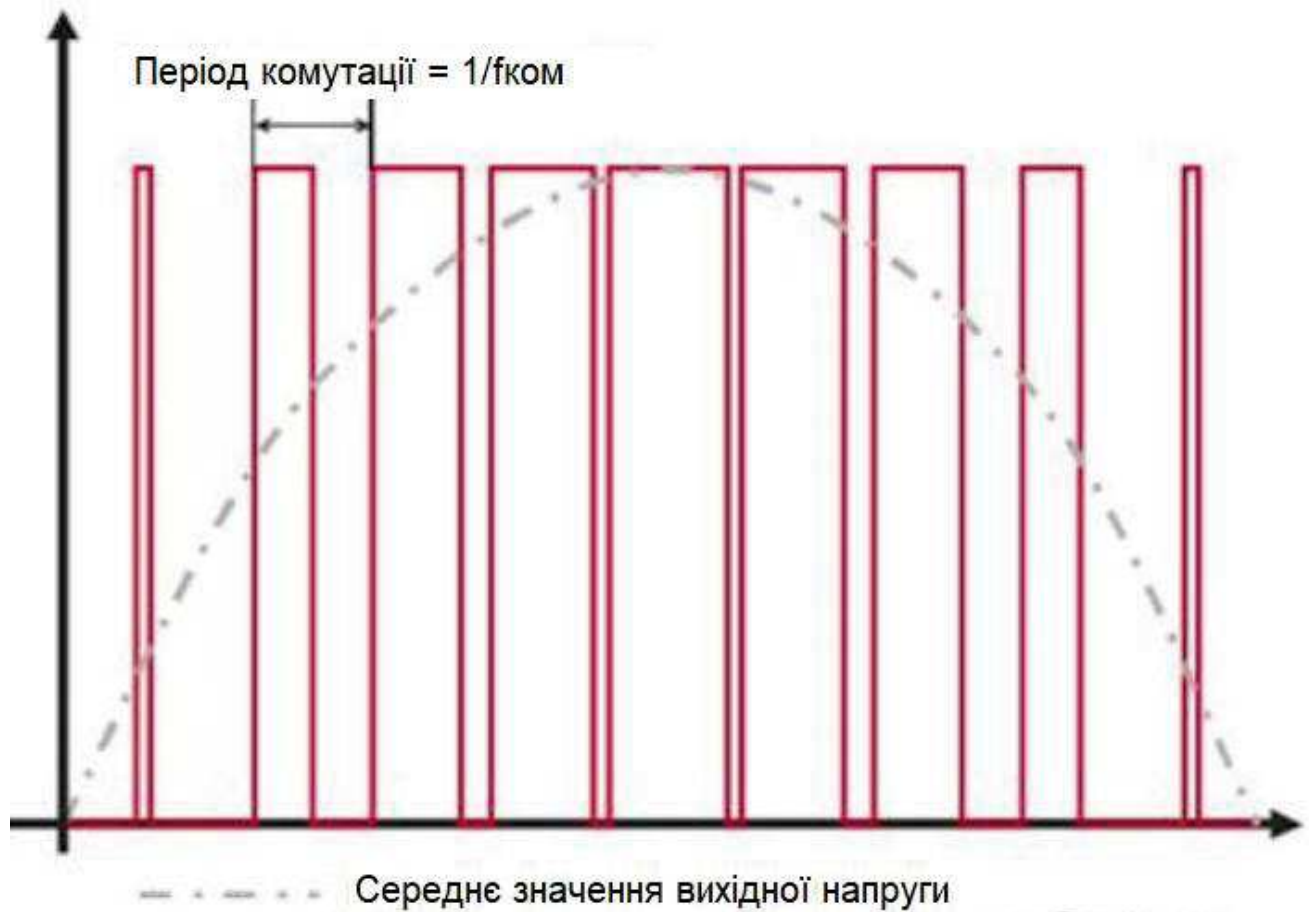


Рисунок 1.7 – Формування величини вихідної напруги

Майже всі ЧП, які зараз представлено на ринку, зібрані згідно представленої силової схеми, головні відмінності є лише в функціях системи керування, які можна умовно класифікувати наступним чином:

- забезпечення захисту АЕД, мережі та ЧП;
- керування силовими ключами генератору;
- наявність системи обміну даними із навколишнім середовищем.

Крім того необхідно вказати, що на ринку майже всі моделі оснащені векторним керування, яке майже не використовується, проте дана функція може бути просто відключена в налаштуваннях [11-13].

Висновки до першого розділу

Проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23

систем припливної вентиляції приміщень. Описана проблематика використання систем припливної вентиляції приміщень, способи керування припливною системою вентиляції приміщення та особливості використання частотно-регульованого електроприводу в припливних вентиляційних системах.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

2 Проектування конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення

2.1 Підбір схеми частотного перетворювача

Так як АЕД 4A200L8У3 [14] може експлуатуватись при відхиленнях величини напруги мережі в межах від мінус 5 до +10% від номінального значення та максимальних відхиленнях частоти $\pm 2,5\%$ від номінального значення (див. Додаток А). При одночасному відхиленні величини напруги та частоти мережі АЕД зберігає номінальну паспортну потужність (22 кВт при 8 полюсах), у випадку якщо сума абсолютних значень відхилень цих величин не перевищує 10% або кожне окреме з цих відхилень не перевищує норму.

Автономний інвертор напруги завжди будується по мостовій схемі, тобто використовується принцип разової комутації вентилів $V_1 - V_6$ з тривалістю ведучого положення силових ключів у 180° або ШІМ, у другому випадку одночасно відбувається регулювання частоти та рівня напруги. Тому на вході в перетворювача встановлюють нерегульований випрямляч, а процес гальмування АЕД відбувається через вимикання АЕД від джерела постійної напруги та замикання обмотки статора на активний опір. У випадку використання частотного регулювання гальмування необхідно передати енергію від АЕД до мереже змінної напруги, це можливо у випадку використання реверсивного керованого випрямляча, коли частина вентилів – керований випрямляч, інша частина – відомий мережею інвертор (рис. 2.1).

У випадку коли рівень напруги мережі суттєво відрізняється від рівня напруги АЕД використовується спеціальний трансформатор, через який напруга тече на вхід випрямляча. У випадку відсутності трансформатора на вході випрямляча вмикають спеціальні струмообмежувальні реактори.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{1ном} = \frac{P_{ном}}{3 \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном}}, \quad (2.1)$$

де $U_{ном}$ - рівень номінальної напруги АЕД, В; $P_{ном}$ - номінальна потужність АЕД, Вт; $\varphi_{ном}$ - величина номінального коефіцієнта потужності АЕД; $\eta_{ном}$ - ККД АЕД.

$$I_{1ном} = \frac{22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,885} = 44,84 А.$$

Знайдемо величину номінальної сили струму статора згідно формули [11-13]:

$$I_2 = 2 \cdot I_{1ном}; \quad (2.2)$$

$$I_2 = 2 \cdot 44,84 = 89,68 А.$$

Визначимо максимальний рівень напруги, який можливо подати на транзисторний ключ згідно формули [11-13]:

$$U_{dn} = \sqrt{2} \cdot U_{ном}; \quad (2.3)$$

$$U_{dn} = \sqrt{2} \cdot 380 = 538,8 В.$$

Тоді знайдемо середнє значення сили струму, яка споживається інвертором із мережі постійної сили струму при номінальній частоті АІН з формули [11-13]:

$$I_{dn} = \frac{P_{ном} \cdot K_{вз}}{U_{dn}} = \frac{3 \cdot U_{ном} \cdot I_{1ном} \cdot \cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot K_{вз}}{U_{dn}}, \quad (2.4)$$

де $K_{\text{вг}}$ - коефіцієнт, який враховує вплив вищих гармонік, приймаємо $K_{\text{вг}} = 1,1 \dots 1,2$ [11-13].

$$I_{dn} = \frac{3 \cdot 220 \cdot 25,95 \cdot 0,84 \cdot 0,885 \cdot 1,15}{535,8} = 27,33 \text{ A.}$$

Величини активного R та індуктивного X навантаження знайдемо використавши схему заміщення АЕД (рис. 2.3).

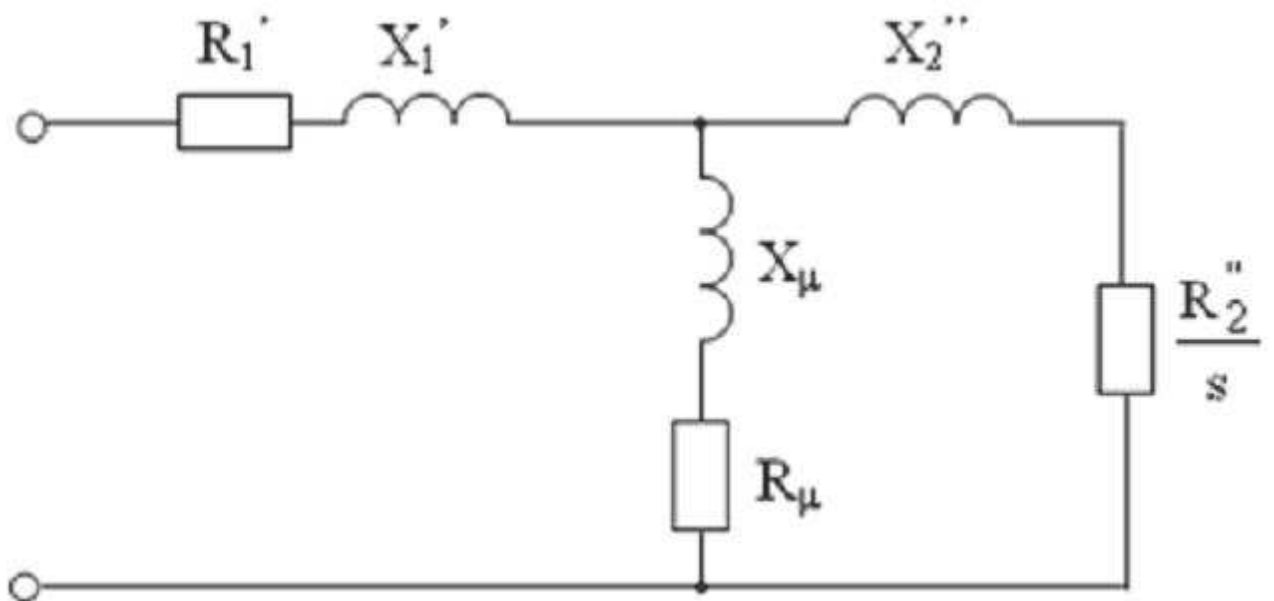


Рисунок 2.3 – Схема заміщення АЕД

Тоді знайдемо номінальне значення опору згідно формули:

$$R_{\sigma} = \frac{U_{ном}}{I_{1ном}}; \quad (2.5)$$

$$R_{\sigma} = \frac{380}{25,95} = 14,64 \text{ Ом.}$$

Із схеми заміщення отримаємо:

$$R_1 = R_\sigma \cdot R_1' = 14,64 \cdot 0,62 = 9,08 \text{ Ом};$$

$$R_2' = R_\sigma \cdot R_2'' = 14,64 \cdot 0,029 = 0,42 \text{ Ом};$$

$$X_1 = R_\sigma \cdot X_1' = 14,64 \cdot 0,14 = 2,02 \text{ Ом};$$

$$X_2' = R_\sigma \cdot R_2'' = 14,64 \cdot 0,18 = 2,63 \text{ Ом};$$

$$X_\mu = R_\sigma \cdot X_0 = 14,64 \cdot 3,1 = 45,39 \text{ Ом}.$$

Виходячи із отриманих значень, активним опором контуру можливо знехтувати через невеликі значення.

Визначимо активний та індуктивний опір фази АЕД для номінального значення частоти АІН згідно формули [11-13]:

$$R_{ен} = R_1 + \frac{X_\mu^2 \cdot R_2' / s_{ном}}{(X_2' + X_\mu)^2 + (R_2' / s_{ном})^2}; \quad (2.6)$$

$$X_{ен} = X_1 + X_\mu - \frac{X_\mu^2 \cdot (X_2' + X_\mu)}{(X_2' + X_\mu)^2 + (R_2' / s_{ном})^2}, \quad (2.7)$$

де $s_{ном}$ - значення номінального проковзування АЕД, знайдемо із формули [11-13]:

$$s_{ном} = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0};$$

$$R_{ен} = 9,08 + \frac{45,39^2 \cdot 0,42 / 0,027}{(2,63 + 45,39)^2 + (0,42 / 0,027)^2} = 21,65 \text{ Ом};$$

$$X_{ен} = 2,02 + 45,39 - \frac{45,39^2 \cdot (2,63 + 45,39)}{(2,63 + 45,39)^2 + (0,42/0,027)^2} = 8,58 \text{ Ом.}$$

Так як в будову модуля також входять діоди та транзистори, параметри яких повинні бути узгодженні з паспортними параметрами модуля, немає необхідності визначати дані параметри окремо.

Визначимо середнє значення сили струму, що протікає через ключ згідно формули [11-13]:

$$I_{кл} = \frac{I_{dn}}{m}, \quad (2.12)$$

де m - кількість фаз перетворювача, приймаємо $m = 3$.

$$I_{кл} = \frac{27,33}{3} = 9,11 \text{ А.}$$

Базуючись на отриманих значення та таблицях із додатків, обираємо до монтажу IGBT модулі [15] для того, щоб задовольнити умовам [11-13]:

$$\begin{aligned} I_k &\geq k_{пер} \cdot I_{кл}; \\ U_k &\geq U_{dn}, \end{aligned} \quad (2.13)$$

де $k_{пер}$ - коефіцієнт кратності перевантаження по силі струму; I_k, U_k - паспортні дані модулів.

$$I_k = 1,5 \cdot 9,11 = 13,66 \text{ А;}$$

$$U_k = 535,8 \text{ В.}$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

До монтажу обираємо тип модуля SKM22GD123D [16] із наступними паспортними даними:

$$I_k = 22A \text{ - сила струму колектора;}$$

$$U_k = 1200V \text{ - напруга колектор-емітер при } t = 25^\circ C ;$$

$$P_{k \max} = 145W \text{ - максимальна потужність.}$$

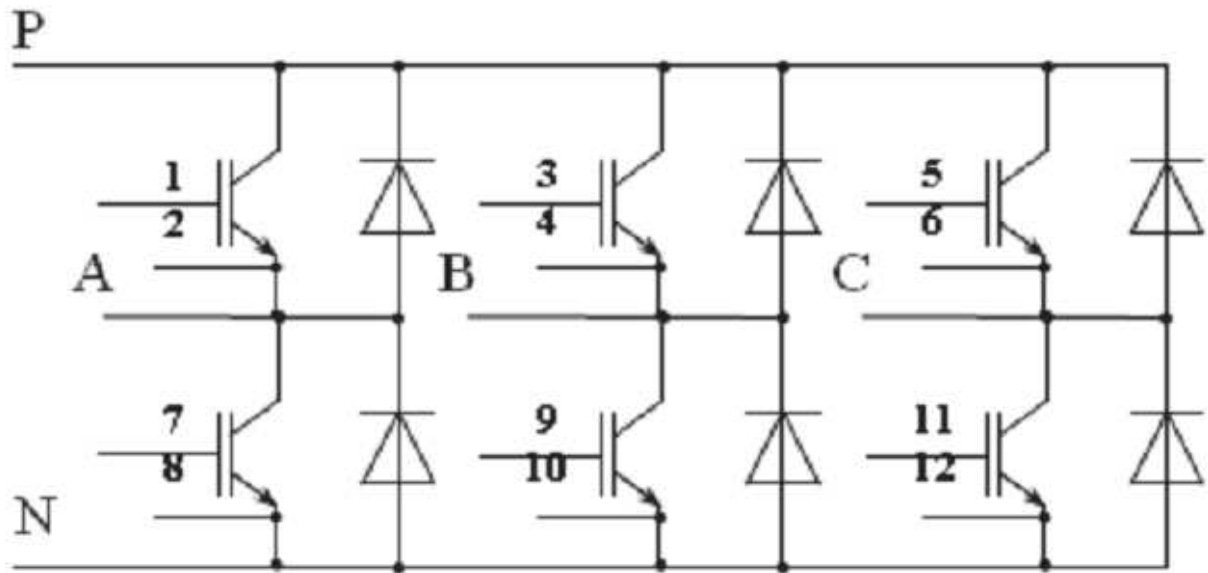


Рисунок 2.4 – Електрична схема IGBT модуля типу SKM22GD123D [16]

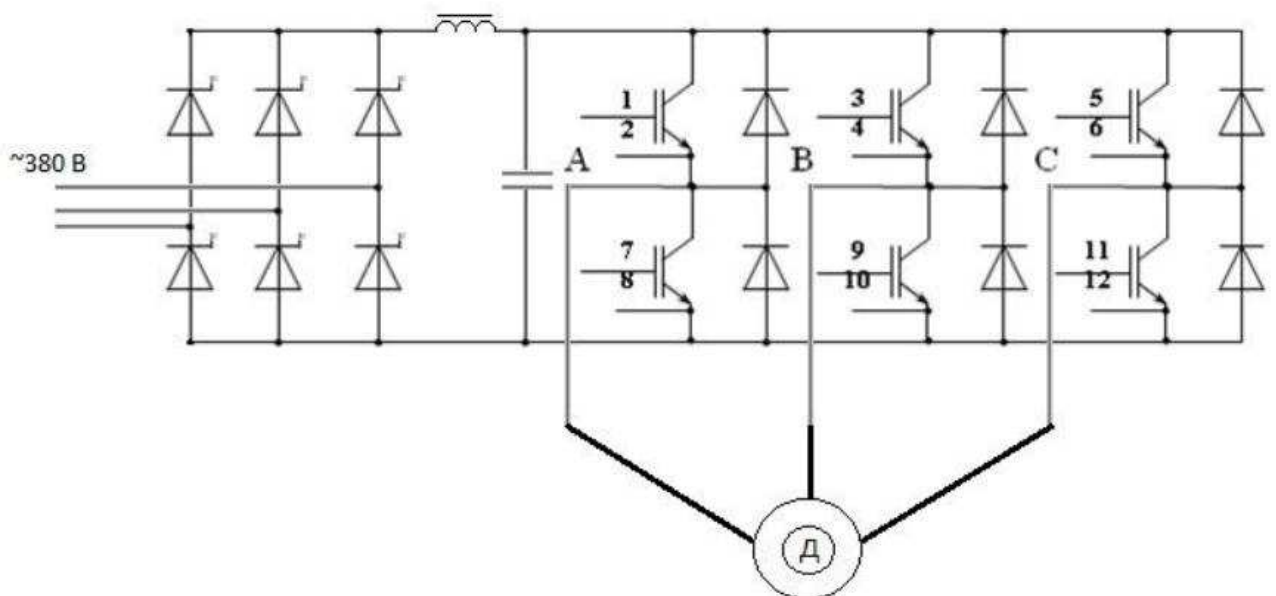


Рисунок 2.5 – Запропонована схема електрична принципова ЧП

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
31

Підбір схеми випрямляча залежить від величини загальної потужності навантаження. При рівні потужності навантаження менше за 1 кВт може бути використана однофазна схема випрямляча. Проте при невеликому рівні потужності навантаження все ж рекомендується використовувати 3-фазну схему із центральною точкою, для спрощення системи керування випрямлячем. Використання таких схем можливе лише у випадку невисоких вимог до ККД та навантаження та невеликому діапазону регулювання величини напруги.

В випрямлячах середньої та високої потужності (> 10кВт) використовують 3-фазну мостову схему [11-13].

2.2 Розрахунок параметрів та підбір силового обладнання

Для балансування рівнів напруги АЕД та мережі використовуються силові трансформатори, необхідність їх монтажу повинна бути врахована виходячи із рівня напруги на виході випрямляча [11-13]:

$$U_{d0} = U_{\text{фаз}} \cdot k_{\text{cx}}, \quad (2.14)$$

де k_{cx} - коефіцієнт схеми, в залежності від типу підключення: для мостової схеми $k_{\text{cx}} = 2,34$ та $k_{\text{cx}} = 1,17$ для нульової схеми випрямляча; $U_{\text{фаз}}$ - фазова напруга мережі.

$$U_{d0} = 220 \cdot 2,34 = 589,7 \text{ В.}$$

З розрахунків виходить, що умова дотримується для мостових схем випрямлячів.

Розрахунок параметрів тиристорів керованого випрямляча, загально відомо, що максимальне значення напруги на тиристорах буде в режимі холостого ходу перетворювача.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Знайдемо значення для мостових безтрансформаторних схем згідно формули [11-13]:

$$U_{vm} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{фаз}}; \quad (2.15)$$

$$U_{vm} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot 220 = 538,79 \text{ В.}$$

Визначимо середнє значення сили струму, що протікає через плече випрямляча згідно формули:

$$I_{dvp} = \frac{k_{\text{пер}} \cdot k_g \cdot I_{dn}}{m}, \quad (2.16)$$

де $k_{\text{пер}}$ - коефіцієнт кратності перевантаження перетворювача по силі струму; k_g - коефіцієнт, що враховує вплив вирівнюючої сили струму при використанні реверсивної схеми, при використанні окремого керування та нереверсивних схем приймаємо $k_g = 1$; m - кількість фаз випрямляча.

$$I_{dvp} = \frac{1,5 \cdot 1 \cdot 27,33}{3} = 13,67 \text{ А.}$$

Визначимо середню силу струму, що протікає крізь тиристор, враховуючи, що нагрів тиристора $i^2 \cdot t$ є пропорційним та наявність математичної залежності між t та λ , згідно формули [11-13]:

$$I_{dv} = I_{dvp} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{180}}. \quad (2.17)$$

Кут відкриття тиристора визначимо із наступної формули [11-13]:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{m} = \frac{2 \cdot 180^\circ}{3} = 120^\circ.$$

Тоді

$$I_{dv} = 13,67 \cdot \sqrt{\frac{120^\circ}{180}} = 11,15 A.$$

Залежність коефіцієнту кута відкриття k_λ від кута відкриття тиристора λ вибираймо із таблиці (див. Додаток А).

Звідки визначимо:

$$I_{dv} = I_{dvp} \cdot k_\lambda; \quad (2.18)$$

$$I_{dv} = 11,15 \cdot 0,817 = 9,11 A.$$

Тиристори будемо обирати згідно наступної умови [11-13]:

$$U_v \geq U_{vm} = 538,79 B,$$

$$I_v \geq I_{dv} = 11,15 A.$$

Вибираємо до монтажу тип тиристора - CS23-12L02 з наступними параметрами [17]:

$$U_{тип} = 1200 B,$$

$$I_{тип} = 25 A.$$

Підбір та розрахунок струмообмежувальних реакторів.

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Такий тип реакторів встановлюється на вході керованого випрямляча для обмеження швидкості зростання сили струму в ланцюзі тиристорів, для того, щоб не допустити руйнування тиристорів.

Реактор до встановлення обирається згідно необхідної величини індуктивності, сили струму на вході та рівню напруги.

$$L_p \geq L_{\text{прорзр}},$$

$$I_p \geq I_{\text{ex}},$$

$$U_p \geq U_{\text{фаз}}.$$

Визначимо індуктивність реактора згідно наступної формули [11-13]:

$$L_{\text{прорзр}} = \frac{\sqrt{6} \cdot U_{\text{фаз}}}{2 \cdot \frac{di}{dt}}, \quad (2.19)$$

де $\frac{di}{dt}$ - максимально допустима швидкість зростання сили струму в ланцюзі тиристора, А/с.

$$L_{\text{прорзр}} = \frac{\sqrt{6} \cdot 380}{2 \cdot 150 \cdot 10^6} = 3,1 \text{ мкГн.}$$

Визначимо силу струму на вході випрямляча згідно формули [11-13]:

$$I_{\text{ex}} = \frac{U_d \cdot I_d \cdot k_{\text{неп}} + \Delta P_v}{3 \cdot U_{\text{фаз}}} = \frac{U_{\text{дн}} \cdot I_{\text{дн}} \cdot k_{\text{неп}} + 6 \cdot \Delta U_v \cdot I_{\text{дв}}}{3 \cdot U_{\text{фаз}}}, \quad (2.20)$$

де ΔU_v - падіння рівня напруги на тиристорі, приймаємо $\Delta U_v = 0,5...3B$;
 ΔP_v - величина сумарних втрат на вентилях випрямляча.

$$I_{\text{ex}} = \frac{535,8 \cdot 27,33 \cdot 1,5 + 6 \cdot 1,8 \cdot 11,15}{3 \cdot 380} = 19,37A.$$

Обираємо до монтажу реактор типу - РТСТ-41-1,01УЗ з наступними параметрами [18]:

$I = 41A$ - номінальна фазна сила струму;

$L = 0,505\text{мГн}$ - номінальна індуктивність;

$R = 0,102\text{Ом}$ - активний опір обмоток.

Виконаємо розрахунок параметрів силового контуру керованого випрямляча для цього необхідно розрахувати індуктивність та активний опір силового контуру тиристорного перетворювача.

Знайдемо індуктивність силового контуру згідно формули [11-13]:

$$L_{mn} = n \cdot L_{\text{трф}}, \quad (2.21)$$

де $L_{\text{трф}}$ - величина індуктивності фази силового трансформатора; n - кількість послідовно підключених вторинних обмоток, приймається $n = 2$ для мостової схеми та $n = 1$ - для нульової схеми підключення.

$$L_{mn} = 2 \cdot 0,505 \cdot 10^{-3} = 1,01\text{мГн}.$$

Тоді визначимо еквівалентний опір тиристорного перетворювача із формули [11-13]:

$$R_{mn} = n \cdot R_{\text{трф}} + R_k, \quad (2.22)$$

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де R_k - величина комутаційного опору, визначається із формули [11-13]:

$$R_k = \frac{p \cdot \Omega \cdot L_{mp\phi}}{2 \cdot \pi}, \quad (2.23)$$

де p - кількість імпульсів випрямленої напруги за один період змінної напруги живлення; Ω - кутова частота напруги живлення.

$$R_k = \frac{6 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,505 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi} = 0,150 \text{ Ом};$$

$$R_{mn} = 2 \cdot 0,102 + 0,15 = 0,354 \text{ Ом}.$$

Розрахуємо необхідні параметри фільтра для згладжування пульсацій в ланцюзі постійної сили струму. Значення ємності конденсатора фільтру визначається через величину пульсацій рівнів напруги ΔU_c в ланцюзі постійного струму. Якщо припустити, що допустимі пульсації рівня напруги не перевищують значення $0,1 \cdot U_{dn}$ та знехтувати зміною сили струму при зміні рівня напруги на фільтрі, то можливо прийняти силу струму навантаження рівною силі струму зарядки/розрядки конденсатора фільтра.

Визначимо ємність конденсатора з наступної формули [11-13]:

$$C_\phi = \frac{U_{dn} \cdot T_n}{R_{en} \cdot \Delta U_c} \cdot \left[\frac{1-B}{1+B} - \ln \frac{2}{1+B} \right], \quad (2.24)$$

де T_n - величина електромагнітної постійної часу ланцюга навантаження,

приймаємо $T_n = \frac{L_{en}}{R_{en}} = \frac{X_{en}}{R_{en} \cdot \omega} = \frac{8,58}{21,65 \cdot 2\pi \cdot 50} = 0,0012 \text{ с}.$

$$C_{\phi} = \frac{535,8 \cdot 0,0012}{21,65 \cdot 0,1 \cdot 535,8} \cdot \left[\frac{1 - 0,00024}{1 + 0,00024} - \ln \frac{2}{1 + 0,00024} \right] = 170 \text{ мкФ.}$$

У випадку зниження частоти вихідної напруги інвертора потрібна ємність конденсатора зростає, при $f_i = 0$ вона досягає максимального значення та визначається за формулою [11-13]:

$$C_{\phi} = \frac{U_{dn} \cdot T_n}{R_{en} \cdot \Delta U_c} \cdot [1 - \ln 2]; \quad (2.25)$$

$$C_{\phi} = \frac{535,8 \cdot 0,0012}{21,65 \cdot 0,1 \cdot 535,8} \cdot [1 - \ln 2] = 170 \text{ мкФ.}$$

Знайдемо розрахункову індуктивність фільтра згідно наступної формули [11-13]:

$$L_{\text{фрозр}} = \frac{10 \cdot k_{\phi}}{p^2 \cdot C_{\text{фрозр}}}, \quad (2.26)$$

де k_{ϕ} - коефіцієнт фільтрації, приймаємо $k_{\phi} = 5 \dots 50$; p - кількість імпульсів випрямленої напруги за одичний період змінної напруги, приймаємо $p = 6$.

$$L_{\text{фрозр}} = \frac{10 \cdot 5}{6^2 \cdot 170} = 2,3 \text{ мГн.}$$

Тепер необхідно обрати до монтажу конденсатор та дросель враховуючи наступні умови [11-13]:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$L_{\text{дрос}} \geq L_{\text{фрозр}} = 2,3 \text{ мГн},$$

$$I_{\text{дрос}} \geq I_{\text{дн}} = 27,33 \text{ А},$$

$$C_{\text{к}} \geq C_{\text{фрозр}} = 170 \text{ мкФ},$$

$$U_{\text{к}} \geq 1,2 \cdot U_{\text{дн}} = 642,9 \text{ В}.$$

Вибираємо до монтажу конденсатор - КЕП1-1,05-63-2У1 з наступними параметрами [19]:

$$Q = 63 \text{ кВАр},$$

$$C_{\text{к}} = 181,9 \text{ мкФ},$$

$$U_{\text{к}} = 1,05 \text{ кВ}.$$

Вибираємо до монтажу дроселі - ФРОС-1000/0,5УЗ з наступними параметрами:

$$I = 800 \text{ А},$$

$$L = 2,3 \text{ мГн},$$

$$R = 4,7 \text{ мОм}.$$

Вибір елементів захисту для ЧП, відомо, що в напівпровідникових перетворювачах можуть виникати аварійні режими, тобто режими при яких виникають неприпустимі за значенням і тривалістю сили струму, що течуть через вентиля, наприклад: - зовнішнє КЗ; - перекидання інвертора, веденого мережею; - внутрішнє КЗ (пробій вентиля); - вимкнення вентилів у непрацюючій групі в реверсивних керованих випрямлячах із роздільним керуванням вентиляльними групами; - поява надмірних зрівняльних сил струмів у реверсивних керованих випрямлячах із загальним керуванням тиристорними групами.

Вибір та розрахунок автоматичного вимикача. Такі вимикачі є захисними апаратами багаторазової дії та призначені для захисту від зовнішніх КЗ або перевантажень по силі струму.

Вимикачі встановлюються в ЧП або на первинній обмотці трансформатора або ректорах, що обмежують силу струму, вибираються по наступній умові [11-13]:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{ном} \geq I_{ex} = 33,4A, \quad (2.27)$$

де $I_{ном}$ - номінальна сила струму автоматичного вимикача; I_{ex} - сила струму на вході ЧП.

Вибираємо до монтажу автоматичний вимикач - NZM4-40 з наступними параметрами [20]:

$$I_{ном} = 40A,$$

$$I_{теп} = 25 - 40A,$$

$$I_{max} = 260 - 500A.$$

Вибір та розрахунок плавких запобіжників.

Для захисту силових вентилів ЧП в разі зовнішніх і внутрішніх КЗ широко застосовуються швидкодіючі плавкі запобіжники. Такі запобіжники встановлюються в ланцюзі постійної сили струму, а також послідовно в ланцюзі кожного вентиля випрямляча й автономного інвертора. Вибір плавких запобіжників, що монтуються в ланцюзі постійної сили струму, виконується з наступних умов [11-13]:

$$U_{вст} > 1,2 \cdot U_{dn} = 1,2 \cdot 535,8 = 642,9B,$$

$$I_{вст} > k_{пер} \cdot I_{dn} = 1,5 \cdot 27,33 = 40,9A.$$

де $U_{вст}, I_{вст}$ - рівень напруги та сила струму плавкої вставки запобіжника.

Вибираємо до монтажу - ПКТ111-6-31,5-20 У3 з наступними параметрами [21]:

$$U_{ном} = 6кВ,$$

$$U_{max} = 7,2кВ,$$

$$I_{ном} = 31,5A,$$

$$I_{номвідк} = 20кА,$$

$$I_{min відк} = 315Аб$$

$$P_{втрат} = 58Вт.$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Згідно розрахунків необхідний монтаж мінімум двох плавких запобіжників.

Вибір плавких запобіжників до автономного інвертору рівня напруги виконується згідно наступних умов [21]:

$$U_{вст} > 1,2 \cdot U_{дн} = 1,2 \cdot 535,8 = 642,9В,$$

$$I_{вст} > k_{пер} \cdot I_{кл} = 1,5 \cdot 9,11 = 13,66А.$$

Згідно розрахунків необхідно змонтувати 6 плавких запобіжників.

Вибір та розрахунок плавких запобіжників для реверсивного керованого випрямляча автономного інвертору рівня напруги виконується згідно наступних умов:

$$U_{вст} > U_{mv} = 642,9В,$$

$$I_{вст} > I_{dv} = 13,66А.$$

Згідно розрахунків обираємо до монтажу 12 плавких запобіжників, по 6 для інверторної та випрямляючої групи, приймаємо припущення що сила струму при інвертуванні не буде перевищувати силу струму режиму випрямлення.

Розрахунок та підбір обладнання для захисту від перенапруги.

Процеси які протікають в вентилях ЧП, можуть супроводжуватись перенапругою, яка може привести до пробоя вентиля і виникненню КЗ. Головним видом перенапруги є комутаційна перенапруга, що може виникати при переході вентилів із відкритого стану в закритий і навпаки, тому для захисту від перенапруги використовують RC-ланцюги, яка встановлюється паралельно тиристорам (рис. 2.6).

Для схем із рівнем напруги менше за 1 кВ рекомендують наступні параметри ланцюга:

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$R_{vs} = 50 - 200 \text{ Ом},$$

$$C_{vs} = 0,2 - 1 \text{ мкФ}.$$

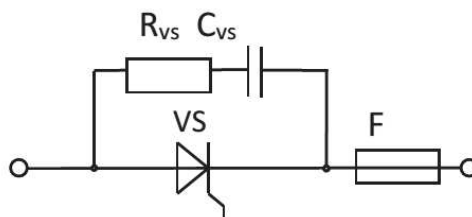


Рисунок 2.6 – Схема встановлення RC-ланцюга

Приймаємо до встановлення:

$$R_{vs} = 125 \text{ Ом},$$

$$C_{vs} = 0,6 \text{ мкФ}.$$

Необхідні параметри ланцюга можна розрахувати згідно наступної формули [11-13]:

$$C_{vs} = \frac{U_{K3} \cdot I_{\max}^2}{\Omega \cdot I_{vсep} \cdot U_{v\max}}, \quad (2.28)$$

де U_{K3} - рівень напруги КЗ трансформатору; I_{\max} - максимальне значення зворотної сили струму; Ω - кутова частота рівня напруги мережі; $I_{vсep}$ - середня сила струму, що протікає через тиристор; $U_{v\max}$ - максимальний рівень напруги на тиристорах.

Максимальне значення сили струму знайдемо із наступної формули [11-13]:

$$I_{\max}^2 = \frac{U_{d0}}{2 \cdot \Omega \cdot L_{\phi mp}} \cdot \Omega \cdot \tau \cdot \sin(\alpha_{ном} + \gamma_{ном}), \quad (2.29)$$

де τ - час відновлення властивостей вентиля.

Висновки до другого розділу

Виконано проектування конструкції частотного перетворювача системи припливної вентиляції приміщення. Підбрано необхідну схему частотного перетворювача для системи припливної вентиляції приміщень. Виконано аналітичні розрахунки параметрів та підбір необхідне силове обладнання для системи припливної вентиляції.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність

3.1 Розрахунок параметрів фільтра системи припливної вентиляції

Загально відомо, що згладжування можливих пульсацій рівня напруги в ланцюзі постійної сили струму виконують за допомогою встановлення або Г- або П-подібних LC-фільтрів.

Значення величини ємності конденсатору визначається пульсацією рівня напруги в ланцюзі постійної сили струму ΔU_c . Можна зробити припущення, що допустимі пульсації рівня напруги не будуть перевищувати значення $0,1 \cdot U_{dn}$ та, відповідно, знехтувати значенням сили струму при зміні рівня напруги на конденсаторі LC-фільтру то можливо вважати, що сила струму навантаження рівна сили струму заряджання/розряджання конденсатору.

$$C_\phi = \frac{U_{dn} \cdot T_{ном}}{R_{en} \cdot \Delta U_c} \cdot \left[\frac{1-B}{1+B} - \ln \frac{2}{1+B} \right], \quad (3.1)$$

де $T_{ном}$ - електромагнітна стала часу ланцюга навантаження, визначається із формули:

$$T_{ном} = \frac{L_{en}}{R_{en}} = \frac{X_{en}}{R_{en} \cdot \omega};$$

$$T_{ном} = \frac{8,58}{21,65 \cdot 2\pi \cdot 50} = 0,0012c;$$

$$L_{en} = 0,0012 \cdot 21,65 = 0,026 Гн;$$

$$B = e^{-\frac{T}{2 \cdot T_{ном}}}, \quad (3.2)$$

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		44

де T - період вихідного рівня напруги інвертору, визначається

$$T = \frac{1}{f_{2ном}} = \frac{1}{50} = 0,02c.$$

$$B = e^{-\frac{0,02}{2 \cdot 0,0012}} = 0,00024;$$

$$C_{\phi} = \frac{535,8 \cdot 0,0012}{21,65 \cdot 0,1 \cdot 535,8} \cdot \left[\frac{1 - 0,00024}{1 + 0,00024} - \ln \frac{2}{1 + 0,00024} \right] = 170_{мкФ}.$$

При зниженні величини частоти рівня вихідної напруги інвертора ємність конденсатора повинна бути збільшена. При значенні $f_i = 0$ буде досягнуто максимально можливого значення, яке визначимо згідно наступної формули [11-13]:

$$C_{фрозр} = \frac{U_{дн} \cdot T_{ном}}{R_{ен} \cdot \Delta U_c} \cdot [1 - \ln 2]; \quad (3.3)$$

$$C_{фрозр} = \frac{535,8 \cdot 0,0012}{21,65 \cdot 0,1 \cdot 535,8} \cdot [1 - \ln 2] = 170_{мкФ}.$$

Визначимо необхідну індуктивність фільтру згідно формули [11-13]:

$$L_{фрозр} = \frac{10 \cdot k_{\phi}}{p^2 \cdot C_{фрозр}}; \quad (3.4)$$

$$L_{фрозр} = \frac{10 \cdot 5}{6^2 \cdot 170} = 2,3_{мГн}.$$

Згідно із отриманими розрахунковими даними необхідно підібрати тип

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

напругу U_d в трифазну напругу U_{1pez} з регульованою частотою f_{1pez} та подає його на АЕД. Рівень частоти вихідної напруги f_{1pez} АІН регулюється за допомогою використання блока керування за допомогою сигналу U_y .

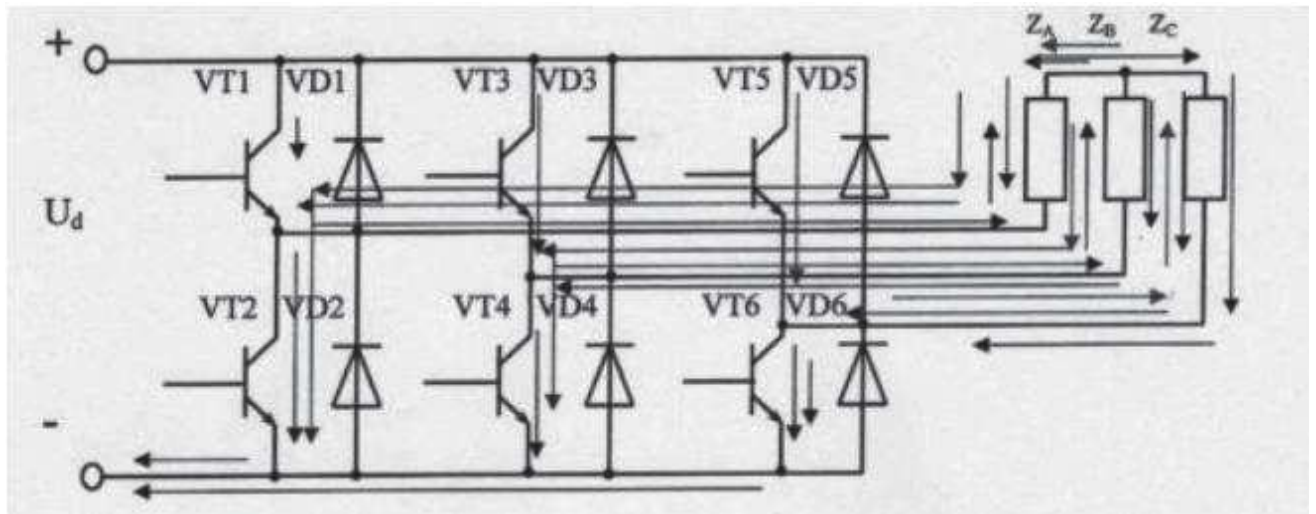


Рисунок 3.2 – Електрична схема АІН з контуром протікання сили струму

Електрична схема (рис. 3.2) працює наступним чином: в один період часу одночасно працюють 3 транзистори, за період рівний 360° або 2π вентильні групи перемикаються 3 рази – 1-4-6, 3-2-6, 5-4-2. Так як 3 рази виконується зміна підключення фаз, отримуємо перемінну силу струму в навантаженні.

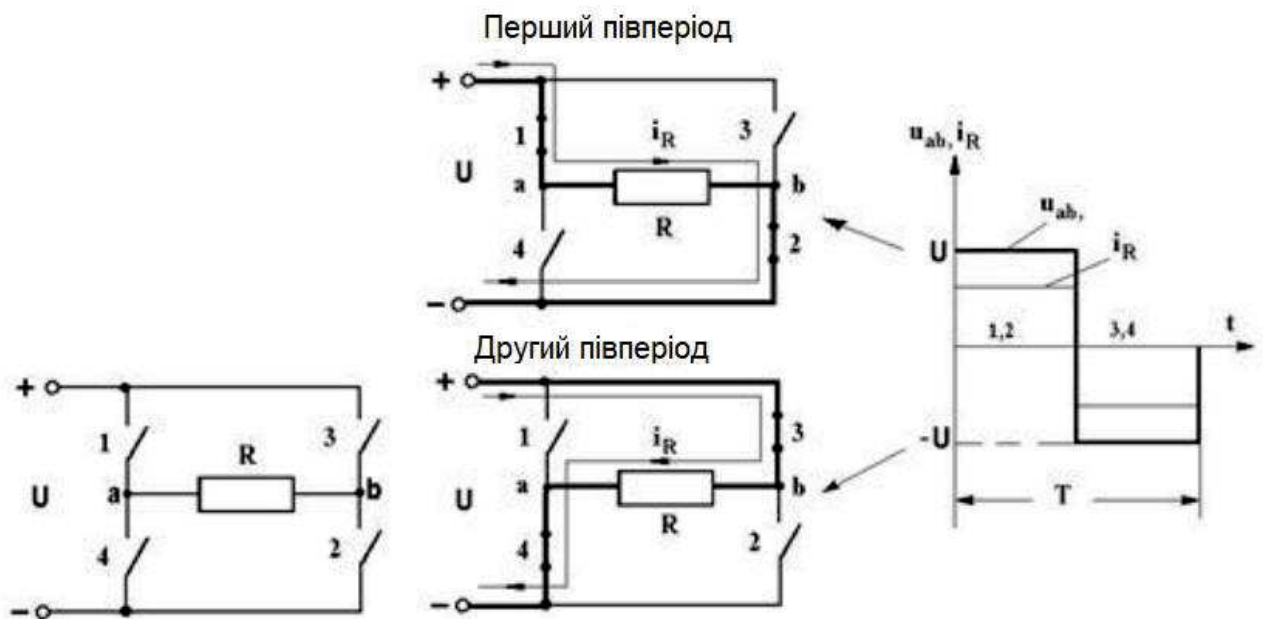


Рисунок 3.3 – Однофазна схема АІН з активним опором

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Відома схема АІН із 4 ідеальними ключами 1, 2, 3, 4 та активним опором (рис. 3.3), при попарному перемиканні ключів 1,2 – 3,4 – 1,2 через певний проміжок часу $T/2$ до активного опору буде прикладатись напруга перемінного струму u_{ab} прямокутної форми з частотою наступної величини - $f = \frac{1}{T}$. Сила струму при активному типі навантаження буде повністю повторювати форму напруги. Змінюючи проміжок часу на перемикання $T/2$ можливо виконувати регулювання частоти в будь-яких межах.

При використанні активно-індуктивного навантаження розмикання ключа (рис. 3.3) неможливе без виконання додаткових дій, оскільки енергія яка акумулюється індуктивністю в ланцюгу, при створенні розриву буде викликати більш високі пікові перевантаження $e = -L \cdot di/dt$ і приведе пристрій в повну несправність. Також при виконанні розмикання ключів повинні бути контури, по яких повинен продовжувати протікати сили струму в тому самому напрямку і енергія створена індуктивністю буде використовуватись.

Описані вище проблеми представлені на електричній схемі однофазного інвертора (рис. 3.4). Зображені пунктирними лініями діоди в ключах 1-4 показують напрямок протікання струму. Змонтвані діоди разом із конденсатором створюють контури для обміну енергією. Перемикання ключів повністю відповідає описаній вище, проте сила струму на кожному півперіоді змінює напрям протікання, показано на діаграмі роботи АІН. Як очевидно із графіків форми сили струму та напруги суттєво відрізняються, сила струму через індуктивний характер відстає від напруги.

При виконанні одноразового перемикання та тривалості ведучого положення в 180° потрібно, щоб одночасно працювали два ключі в одній фазі та один ключ в іншій. На затвори вентилів подаються імпульси керування тривалістю в 180° , які є зміщені один відносно одного на 60° . При такій послідовності імпульсів керування 3 рази міняються схеми підключення фаз.

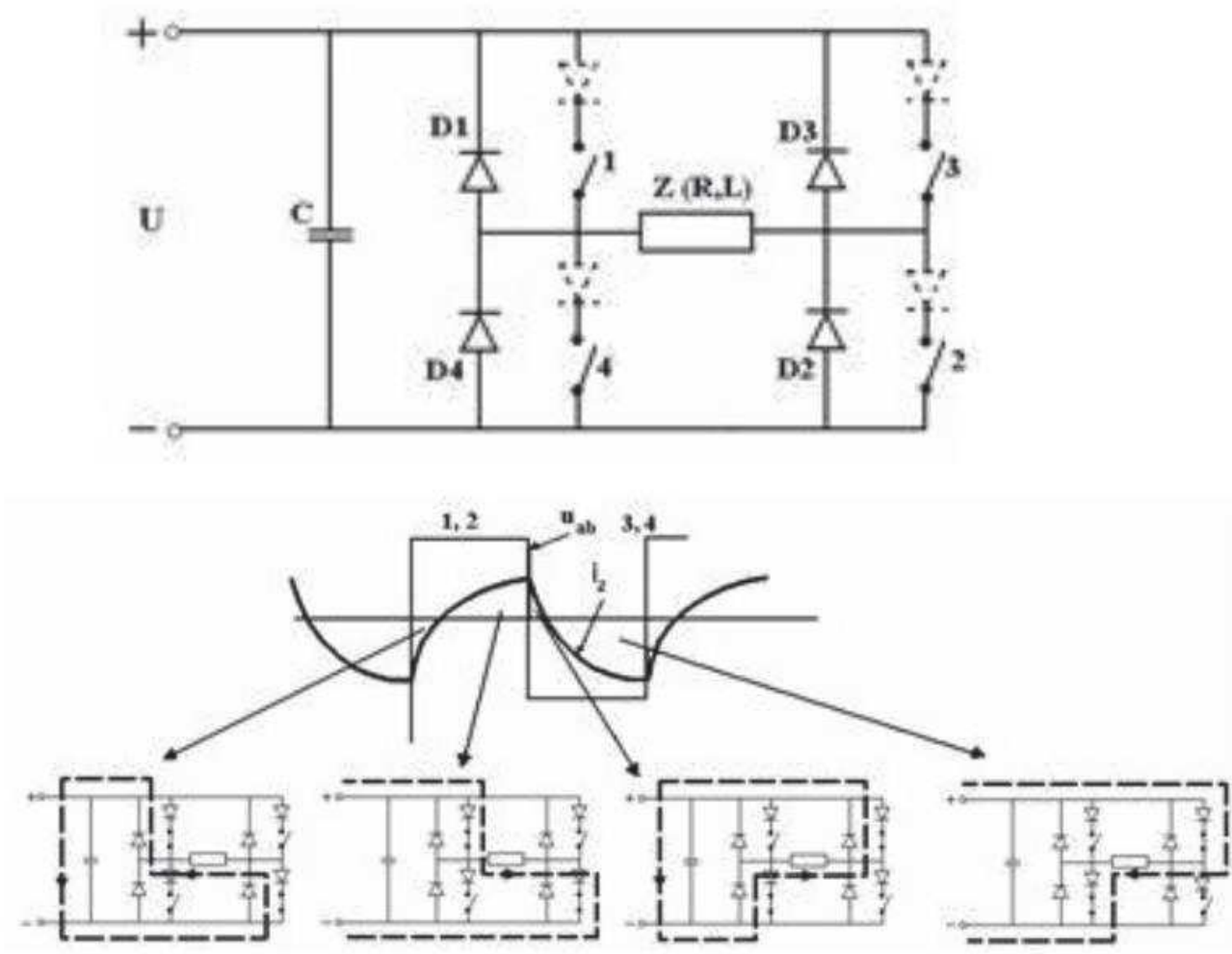


Рисунок 3.4 – Електрична схема однофазного інвертору із RL-навантаженням та діаграмою його роботи

Ідею побудови АІН із ШІМ представимо у вигляді однофазної схеми з лише активним навантаженням (рис. 3.5).

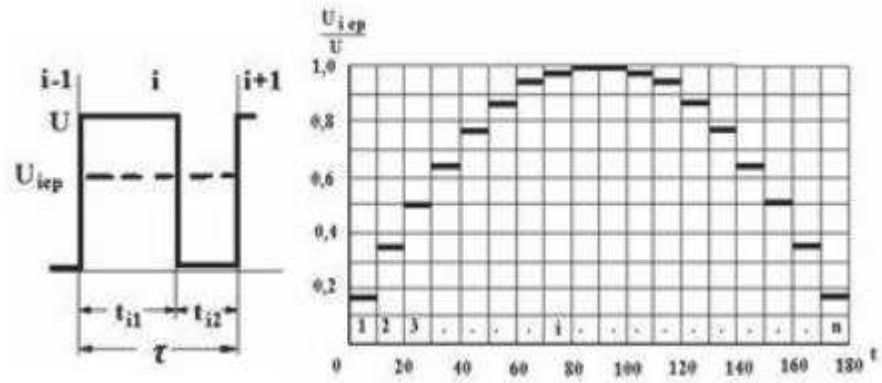


Рисунок 3.5 – Вигляд ШІМ на інтервалі часу та половині періоду частоти

Для зміни амплітуди та форми напруги на навантаженні поділимо кожний період часу T на n рівних частинок та будемо виконувати перемикання ключів 1 та 2 на кожному інтервалі позитивного напів періоду, а ключі 3 та 4 – на від’ємних пів періодах (рис. 3.5). Тоді на кожному окремому інтервалі до навантаження буде прикладатись не повний рівень напруги U , а лише частинка $U_{сер}$ згідно наступної формули [22]:

$$U_{сер} = \frac{U \cdot t_{i1}}{t_{i1} + t_{i2}} = \frac{U \cdot t_{i1}}{\tau} = U \cdot \varepsilon_i. \quad (3.5)$$

Виконуючи зміну ширини імпульсу можливо легко керувати середньою величиною напруги за інтервал $U_{ісер}$, тобто формувати на кожному півперіоді потрібну форму напруги (рис. 3.5). Із збільшенням числа n буде зменшуватись τ і буде згладжуватись ступенева крива. Використовуючи ШІМ, можливо формувати необхідні криві сили струму, враховуючи зміни навантаження в процесі роботи.

Розглянемо побудову зовнішньої характеристики в режимі випрямлення кривої.

Будувати будемо згідно із наступною формулою:

$$U_{da} = U_{d0} \cdot \cos \alpha_{ном} - I_{dn} \cdot R_{mn} - k_v \cdot \Delta U_v, \quad (3.6)$$

де k_v - кількість послідовно включених вентилів (для нульових схем - $k_v = 1$, для мостових схем - $k_v = 2$).

$$U_{da} = 589,7 \cdot \cos 6,66 - 27,33 \cdot 0,354 - 2 \cdot 1,8 = 282,8В.$$

Визначимо граничне значення сили струму згідно формули [22-24]:

					БРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{d_{гран}} = \frac{U_{d0} \cdot \sin \alpha_{ном}}{\Omega \cdot L_d + X_p} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{p} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{p} \right), \quad (3.7)$$

де L_d - індуктивне навантаження контуру; X_p - реактивний опір реактору.

$$L_d = L_{ен} + L_{оп}; \quad (3.8)$$

$$L_d = 0,02598 + 0,002 = 0,02798 \text{ Гн};$$

$$X_p = \omega \cdot L_p; \quad (3.9)$$

$$X_p = 314 \cdot 0,505 \cdot 10^{-3} = 0,1585 \text{ Ом};$$

$$I_{d_{гран}} = \frac{589,7 \cdot \sin 16,66}{314 \cdot 0,02789 + 0,1585} \cdot \left(1 - \frac{3,14}{12} \cdot \operatorname{ctg} \frac{3,14}{12} \right) = 28,45 \text{ А}.$$

Тепер потрібно визначити силу струму в ланцюзі постійного струму ЧП в режимі холостого ходу АЕД, для цього необхідно розрахувати силу струму холостого ходу (або силу струму намагнічування) АЕД згідно формули [22-24]:

$$I_{xx} = I_{\mu} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{(X_1 + X_{\mu})^2 + R_1^2}}, \quad (3.10)$$

де $U_{ном}$ - номінальний рівень фазної напруги АЕД.

$$I_{xx} = I_{\mu} = \frac{380}{\sqrt{(2,02 + 45,39)^2 + 9,08^2}} = 7,87 \text{ А}.$$

Тепер виконаємо розрахунок мінімального значення сили струму в ланцюзі постійного струму через співвідношення сил струмів в номінальному та режимі холостого ходу АЕД [11-13]:

$$I_{d\min} = \frac{I_{dn} \cdot I_{\mu}}{I_{1ном}}; \quad (3.11)$$

$$I_{d\min} = \frac{27,33 \cdot 7,87}{25,95} = 9,513A.$$

Розглянемо побудову зовнішньої характеристики в режимі інвертування кривої.

Під час виконання розрахунків в режимі інвертування необхідно враховувати умову - $\alpha = \beta$. Для визначення максимальної сили струму інвертору при умові виконання безпечного інвертування скористаємось наступною формулою [11-13]:

$$I_{d\max} = \frac{U_{d0} \cdot (\cos \delta - \cos \beta)}{2 \cdot R_{mn}}, \quad (3.12)$$

де δ - кут, що визначає властивості тиристора,
 $\delta = \omega \cdot t_{\max} = 314 \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 0,0942$.

$$I_{d\max} = \frac{589,7 \cdot (\cos 0,0942 - \cos 0,405)}{2 \cdot 0,354} = 55,6A.$$

Проведемо аналіз роботи системи керування випрямлячем та АІН.

Загально відомо, що майже усі фірми-виробники збільшують щорічний випуск електроприводів змінної напруги. Це обумовлено тим, що фірми

налагодили випуск нових комплектуючих виробів – силових напівпровідникових пристроїв, силові транзистори IGBT, тиристори GTO та IGCT, спеціальні електродвигуни змінної сили струму, захист та регулювання електродвигунів, мікропроцесорні пристрої для побудови системи керування (рис. 3.6 та БРМА25.00.00.000 С2).

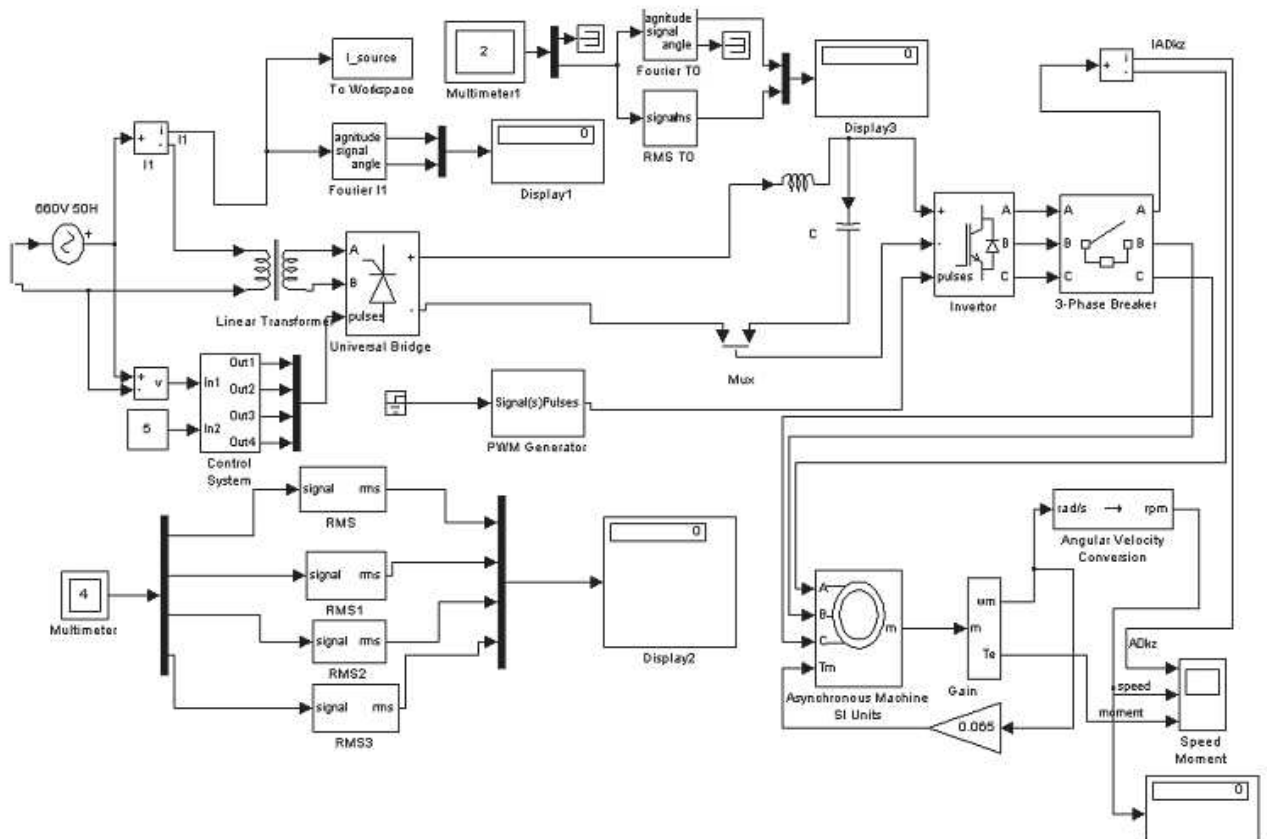


Рисунок 3.6 – Схема АЕД з керованим випрямлячем та АІН [25-27]

3.2 Розробка системи керування частотним перетворювачем системи припливної вентиляції

Загально відомо, декілька способів керування ЧП, найбільш поширені із них частотно- та широтно-імпульсні. Крім того частотно- та фазово-імпульсні способи керування найчастіше використовуються до систем індукційного нагрівання, та для такого типу перетворювачів способи однакові, так як за налаштуванням фази керуючих імпульсів відбувається зміна частоти, що призводить до зміни потужності в навантаженні.

Досить широко почали застосовуватись системи на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС) в якості певних аналогів мікропроцесорів через досить широку функціональність, та мікроконтролер через можливості використання (рис. 3.7 та БРМА 25.00.00.000 С6) [22-24].

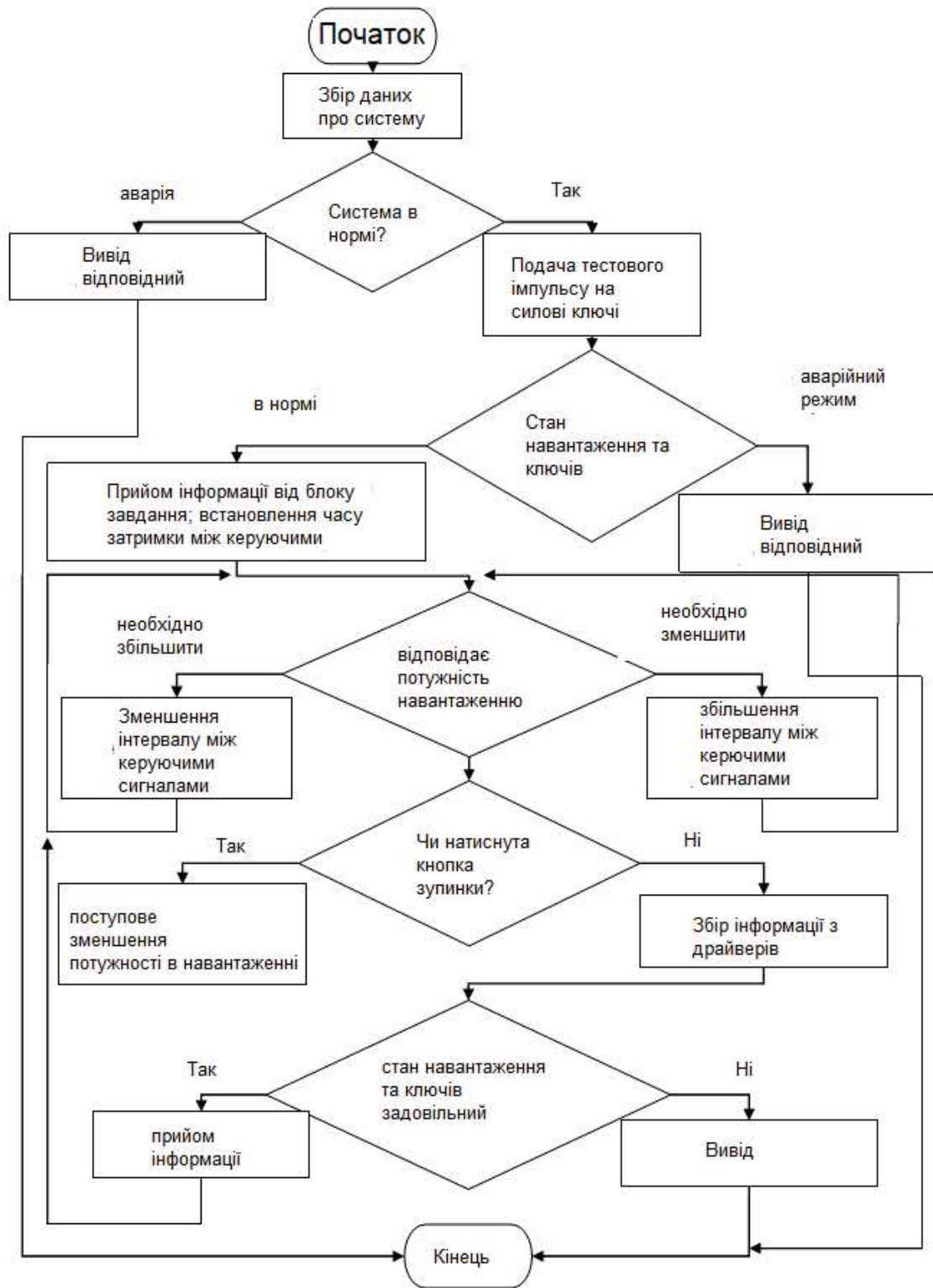


Рисунок 3.7 – Блок-схема роботи системи керування ЧП

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Принцип роботи системи керування ЧП (рис. 3.7) наступний – після отримання керуючого сигналу процесу, система керування створює 2 тестові імпульси на силові ключі, тобто виконується один період перетворення. Виконується аналіз коливального контуру (в залежності від принципу захисту, можливо використання силових ключів), можливо також фіксувати стан з драйверів транзисторів чи фіксувати значення сили струму з шунта коливального контуру. Це дозволяє отримати оцінку про стан системи керування в цілому, а також допоможе попередити аварійну ситуацію.

У випадку спрацювання захисту на індикатори буде виведено інформацію, а система керування повернеться в режим очікування, якщо система керування пройде перевірку успішно то включиться у роботу автономний інвертор, значення початкової частоти комутації буде 1кГц. По мірі роботи ЧП частота комутації буде зростати до заданого значення, потужність, що віддається в навантаження буде змінною.

Так як в процесі роботи використовуються паралельні обчислення то буде постійно опрацьовуватись інформація із датчиків, а також виконуватись перевірка чи було вимкнення системи керування користувачем. Більш детально сканування драйверів буде виконано тільки після виходу ЧП в усталений режим навіть у випадку команди про зупинку технологічного процесу.

У випадку натискання на кнопку закінчення технологічного процесу нагрівання, потужність в навантаженні буде зменшуватись поступово, що в свою чергу дасть можливість зберігати індуктор від пошкоджень.

Будь яка можлива аварія в ході роботи ЧП буде зафіксована системою керування. В такому випадку живлення для силових транзисторів буде вимкнено та система керування буде заблокована.

Підбір драйверів для силових транзисторів для узгодження роботи між системою керування та силовим ключем. Будемо використовувати одно канальний драйвер типу 1SC2060P [28] великої потужності, для забезпечення високої швидкодії та надійності відмикання ключів (рис. 3.8).

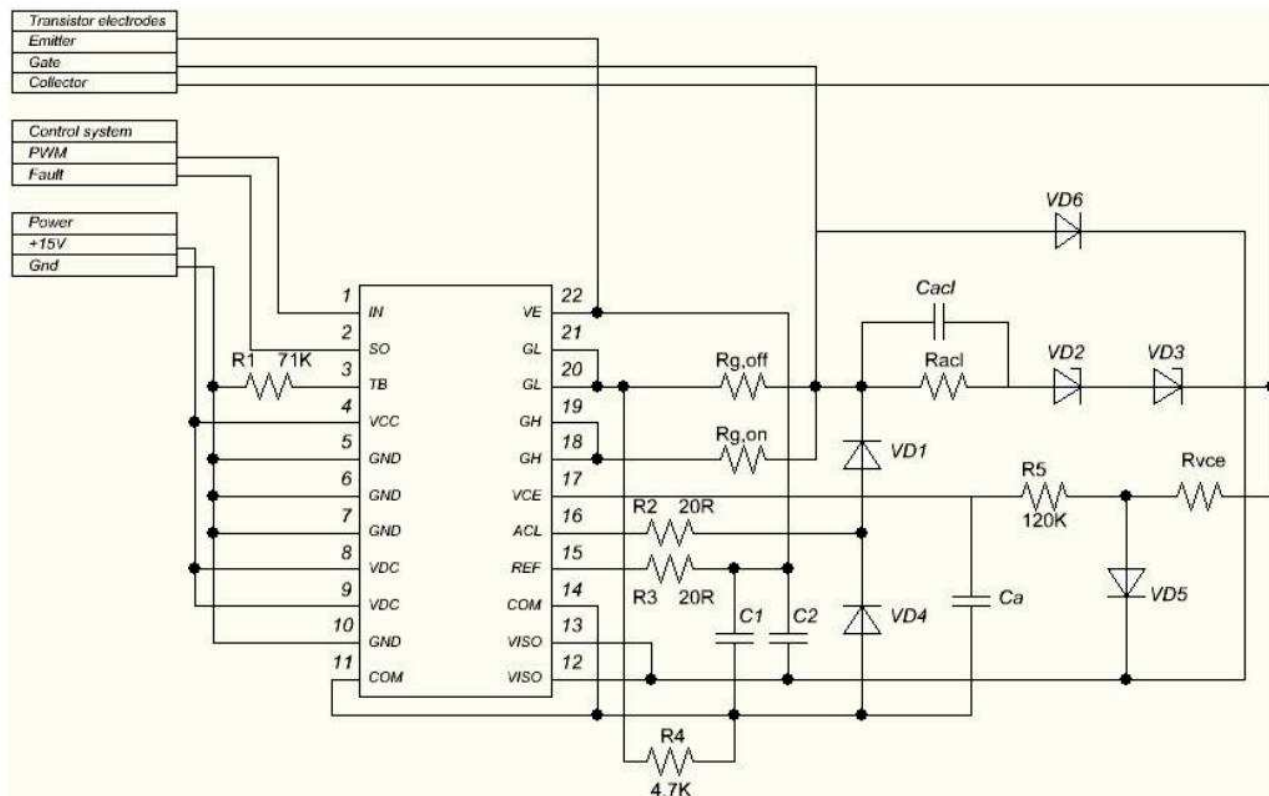


Рисунок 3.8 – Електрична принципова схема підключення драйвера транзистора

Підбір USB-моста для системи керування, в якості драйверу вибираємо мікросхему FT232BM фірми-виробника FTDI Chip [29], схема підключення наведена на рисунку 3.9.

Підбір рідко-кристалічного екрану для системи, особливих вимог не висувалось, тому спиняємо вибір на більш економічному з точки зору живлення варіанті, а також по швидкодії тому спиняємо свій вибір на типі індикатору HDM 32GS12-1 фірми-виробника Nantronix [30]. Схема підключення представлена на рисунку 3.10.

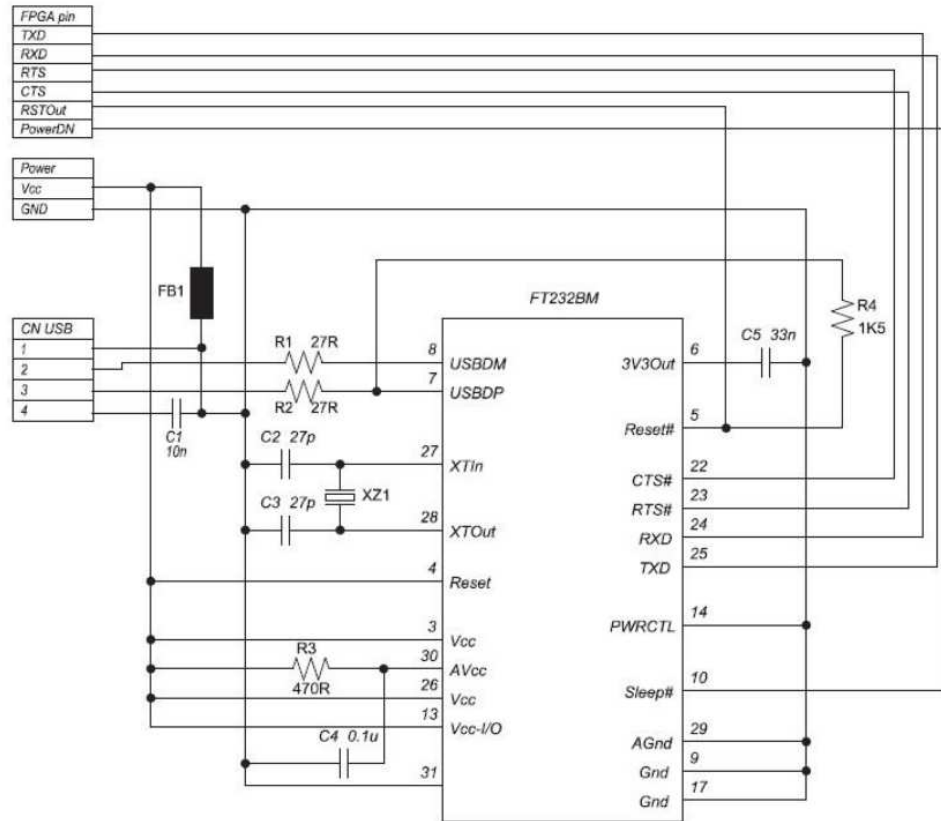


Рисунок 3.9 – Електрична принципова схема підключення USB-мосту до ПЛІС

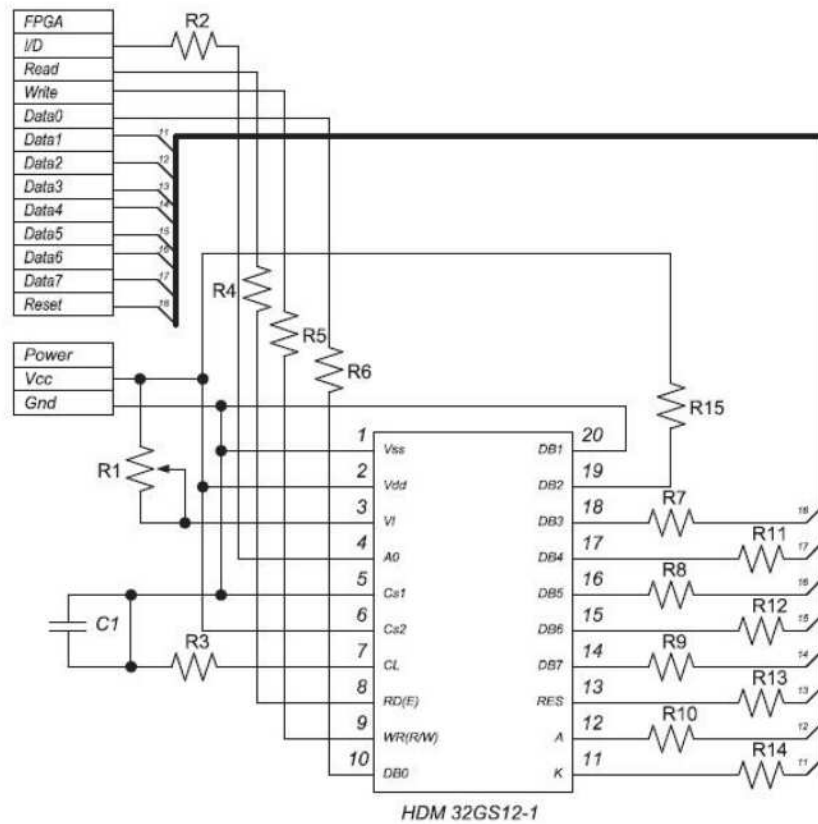


Рисунок 3.10 – Електрична принципова схема підключення РК-дисплею

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
57

Підбір давача сили струму для системи. Виникає проблема вимірювання величини сили струму дискретними елементами, так як логічні пристрої не призначені для входної сили струму в декілька десятків ампер, а пониження рівня може призвести до зростання величини похибки, тому будемо використовувати давач сили струму на ефекті Холла. Приймаємо до монтажу давач сили струму ACS750xCA-075 фірми-виробника Allegro Microsystems Inc. [31] із здатністю до вимірювання рівня сили струму до 75А, принципова схема підключення представлена на рисунку 3.11.

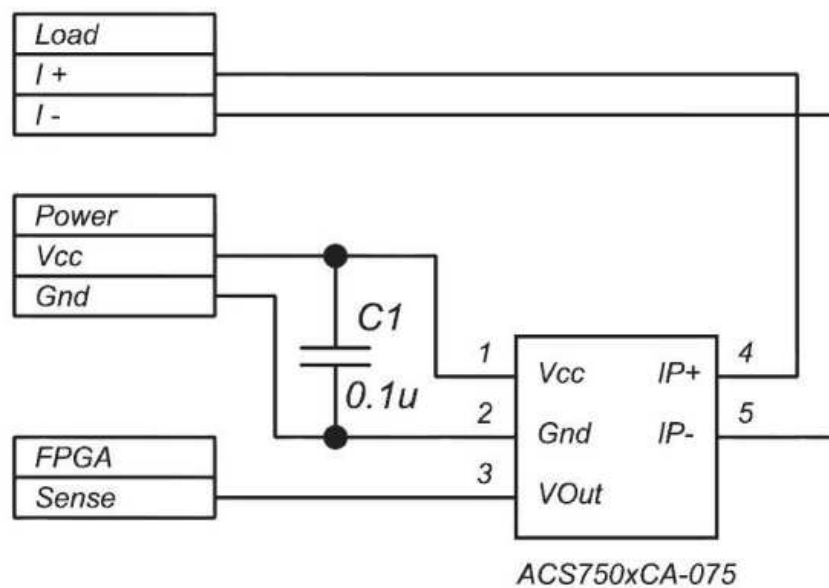


Рисунок 3.11 – Електрична принципова схема підключення давача сили струму

3.3 Моделювання роботи системи керування частотного перетворювача системи припливної вентиляції

При необхідності регулювання рівня частоти та рівня напруги мережі живлення по встановленому закону необхідно використовувати універсальну модель ЧП. Універсальність такої моделі ЧП полягає в тому, що рівень частоти напруги, яка подається на обмотку статора АЕД, розглядається як незалежна координата. ЧП відображається в якості блоку Control system [25-27], представлену на рисунку 3.12 та спеціалізоване вікно параметрів

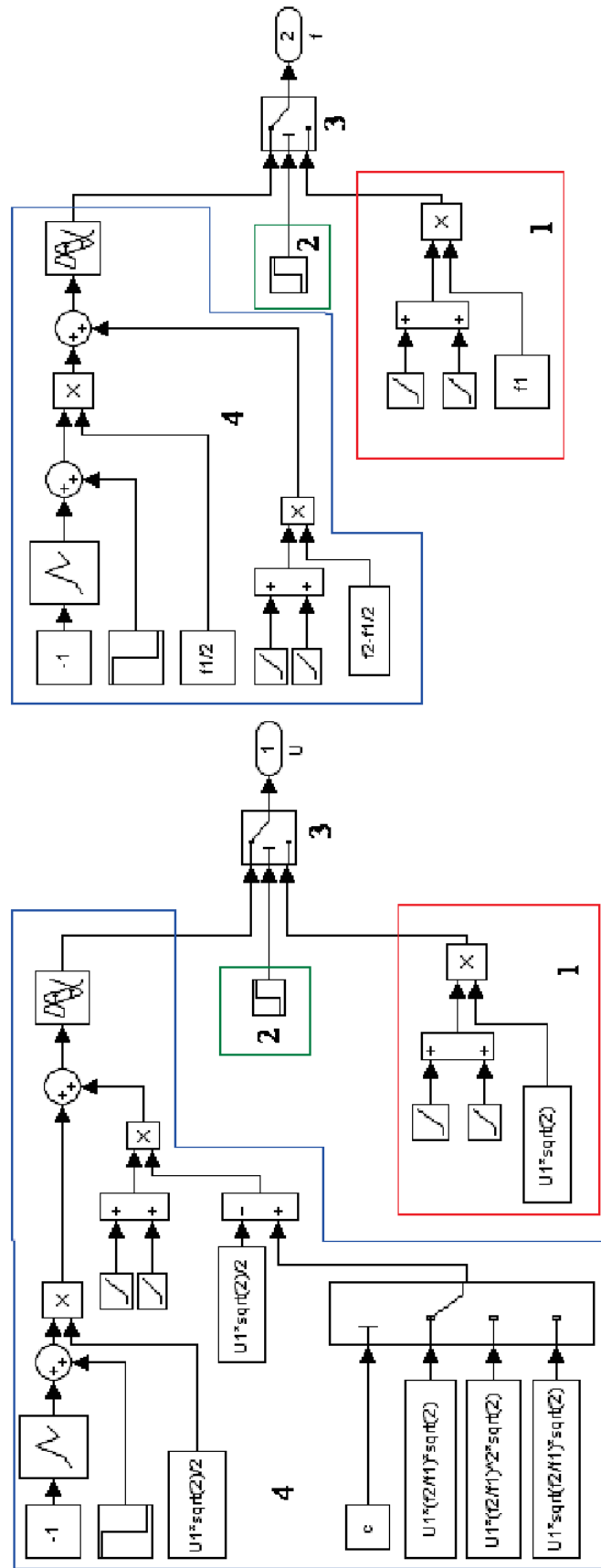


Рисунок 3.12 – Структурна модель ЧП [25-27]

У вікні завдання параметрів необхідно вказати наступне: 1) Фазова напруга або Primary voltage на рівні 220В; 2) Час запуску або Start time не більше як 2 с; 3) Момент часу в який відбувається зміна рівня частоти або Time to change freq – не більше 5 с; 4) Тривалість зміни частоти або Time ramp freq – 2 с; 5) Первинний рівень частоти або Primary freq – 50 Гц; 6) Штучний рівень частоти або Secondary freq – 25 Гц; 7) Вибір закону керування із стандартних [БРМА25.00.00.000 РР]:

$$1 \rightarrow U_1/f_1 = const; 2 \rightarrow U_1/f_1^2 = const; 3 \rightarrow U_1/\sqrt{f_1} = const.$$

За допомогою використання блоків під №1 (див. рис. 3.12), ми отримаємо початкову частину характеристики амплітуди рівня напруги та рівня частоти тривалістю від 0 до того моменту часу, коли відбудеться зміна рівня частоти напруги. В блоці під №2 вказується час зміни рівня частоти напруги, тоді блок №3 (по суті це є ключ), перемикне контакти і включить блоки №4. За допомогою блоків №4 відбувається побудова частини характеристик амплітуди частоти та напруги [25-27].

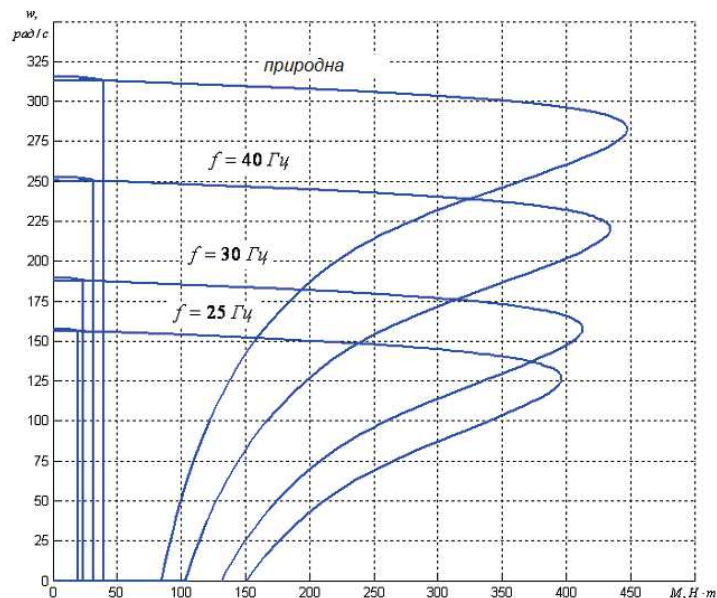


Рисунок 3.13 – Графічна залежність природної та штучної механічної характеристик при різних рівнях частоти $f = 25, 30, 40$ Гц для номінальної потужності $P_{ном} = 22$ кВт при законі регулювання $U_1/f_1 = const$

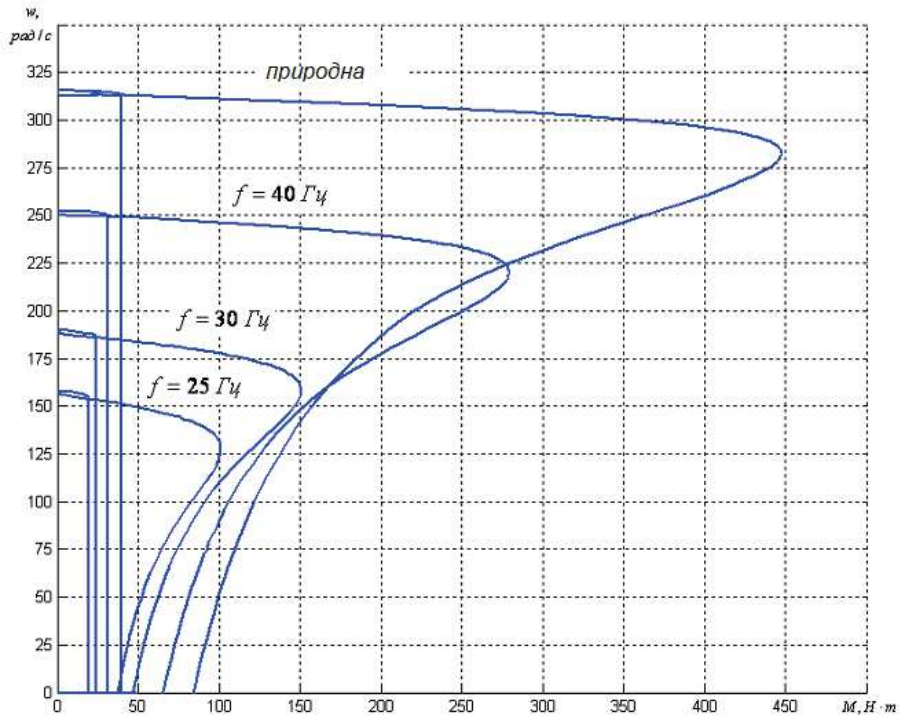


Рисунок 3.14 – Графічна залежність природної та штучної механічної характеристик при різних рівнях частоти $f = 25, 30, 40 \text{ Гц}$ для номінальної потужності $P_{\text{ном}} = 22 \text{ кВт}$ при законі регулювання $U_1 / f_1^2 = \text{const}$

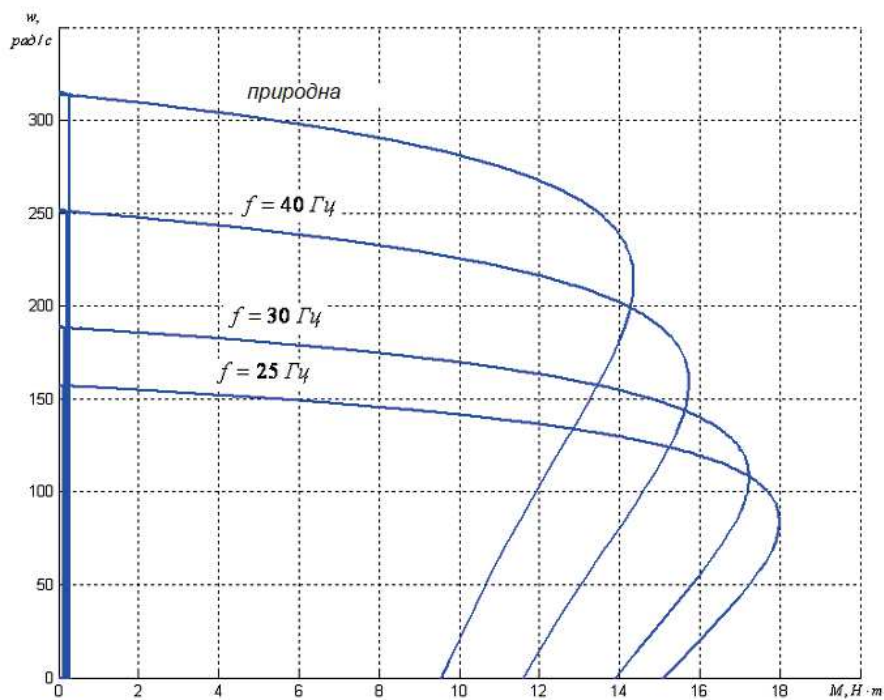


Рисунок 3.15 – Графічна залежність природної та штучної механічної характеристик при різних рівнях частоти $f = 25, 30, 40 \text{ Гц}$ для номінальної потужності $P_{\text{ном}} = 22 \text{ кВт}$ при законі регулювання $U_1 / \sqrt{f_1} = \text{const}$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

Висновки до третього розділу

Виконано розрахунки, що підтверджують працездатність системи припливної вентиляції, а саме проведено розрахунок параметрів фільтра системи припливної вентиляції. Розроблено систему керування частотним перетворювачем системи припливної вентиляції та виконано моделювання роботи системи керування частотного перетворювача системи припливної вентиляції.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Загальні висновки

Було виконано проєктування та розрахунок схеми частотного перетворювача системи припливної вентиляції, який буде застосовано для плавного регулювання швидкості обертання АЕД. Принцип роботи такого способу регулювання заключається в тому, що зміна рівня частоти f_1 напруги U_1 живлення для АЕД в відповідності до рівності $\omega_0 = 2\pi \cdot f / p$ буде призводити до зміни швидкості обертання ω_0 , за рахунок чого отримують різні штучні характеристики. Регулювання вихідного рівня частоти та рівня напруги здійснюють за допомогою використання керуючого сигналу U_y , який вказує необхідний рівень частоти.

Було обрано схему випрямляча, виконано розрахунок параметрів силового контуру, обрано тиристри, розраховано та обрано тип струмообмежувальних реакторів, розраховано параметри силових ключів, а саме – кут вмикання тиристорів та кут комутації.

Було обрано схему автономного інвертора рівня напруги та розраховано параметри заміщення фази А для АЕД, розраховано елементи захисту схеми та підбрано необхідне обладнання.

Виконано розрахунок схеми заміщення АЕД, розраховано параметри фільтру та підбрано реальні конденсатори та дросель відповідно до розрахункових даних.

На основі підібраних елементів та схем створено систему керування припливною вентиляцією та виконано необхідну перевірку для різних законів частотного регулювання.

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перелік джерел посилань

1. Вентиляція та кондиціонування повітря: Навчальний посібник. / . М.О. Шульга, І.П. Юхно. - Харків: ХНАМГ, 2004. - 148 с.
2. Кондиціонування та вентиляція повітря[Текст]: текст лекцій / Е.Г.Братута, А.М.Ганжа, .В.Круглякова, В.В.Чубарова - Харків: НТУ «ХП», 2009. - 128с. ISBN978-966-593-728-9
3. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів : навчальний посібник / Джеджула В. В. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 71 с. ISBN 978-966-641-830-5
4. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.
5. Автоматизація виробничих процесів : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В.М. Сідлецький, С. М. Швед ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харчових технологій. – Київ : Ліра-К, 2015, 2019. – 378 с.
6. Автоматизація технологічних процесів / Синєглазов В.М., Сергєєв І.Ю.: Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2010. – 506 с.
7. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах. Навчальний посібник / Куцик А.С., Місюренко В.О. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. - 200 с.
8. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. — Київ: Аграрна освіта, 2010. — 557с.
9. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: Навч. посіб. / Ладанюк А. П., Архангельська К. С., Власенко Л. О. – К.: НУХТ, 2014. – 274 с.
10. ДСанПіН (Державні Санітарні Правила і Норми). ДСН 3.3.6.042-99

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

<https://www.power.com/products/scale-2-driver-cores/1sc2060p>

29. Мікросхема FTDI FT232BM / FT232BL. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://autoshoping.com.ua/microcontrollers/ftdi/ftdi-ft232bm.html>

30. HDM 32GS12_-1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.compart.pl/wp-content/uploads/2017/02/32gs121-2.pdf>

31. ACS750XCA-075 Datasheet (PDF) - Allegro MicroSystems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/174120/ALLEGRO/ACS750XCA-075.html>

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

ДОДАТКИ

					<i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Таблиця А.1 – Технічні дані АЕД 4А200L8У3, ступінь захисту IP44

v, Гц	B ₆ , Гл	A, А / см	J, А / мм ²	ККД, % при P ₂ / P _{2ном} , %					cosφ при P ₂ / P _{2ном} , %					X _μ	В номінальному режимі				При короткому замиканні		
				25	50	75	100	125	25	50	75	100	125		R'1	X'1	R''2	X''2	R''2н	R _{кп}	X _{кп}
750	0,75	404	6,7	87,5	90,0	90,0	88,5	88,5	0,54	0,75	0,82	0,84	0,84	3,1	0,062	0,14	0,029	0,18	0,055	0,12	0,21

Таблиця А.2 – Пускові властивості АЕД 4А200L8У3, ступінь захисту IP44

Механічна характеристика					i _n	u _t , °C / с	J _{д.р.} , $\frac{\text{ОКГ}\cdot\text{М}}{\text{с}^2}$	t _{н0} , с	h ₀
m _n	m _m	m _к	S _{ном} , %	S _к , %					
1, 2	1, 1	2, 0	2,7	13,0	5, 5	6,8	0,45	0,10	160 0

Таблиця А.3 – Залежність коефіцієнту k_λ від кута відкриття тиристорів λ

λ	180°	120°	90°	60°	30°
k _λ	1,0	0,817	0,707	0,575	0,407