

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА НА ТЕМУ:

**«Перетворювач частоти з векторним методом керування
силовими елементами»**

Завідуючий кафедрою

Опанасюк А. С.

Керівник

кваліфікаційної роботи

Новгородцев А. І.

Консультант

з техніко - економічної частини

Маценко О. М.

Виконав студент

гр. Есм – 91

Саганяк О. О.

Суми 2020 р.

Сумський державний університет
Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»
Спеціальність 171 «Електроніка»
Освітня програма „Електронні системи та компоненти”

Затверджую:
Зав.кафедрою ЕКТ
Опанасюк А.С.
„_____” _____ 2020 г.

ЗАВДАННЯ

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Саганяк Олександр Олександровичу

Тема роботи : «**Перетворювач частоти з векторним методом керування силовими елементами**»

Затверджена наказом по університету від „_____” _____2020 р. № _____

Термін виконання роботи: 15.12.2020 р.

Початкові дані до роботи: трьохфазна напруга лінійна для двигуна 220В; частота трьохфазної напруги 1...60Гц; час розгону/загальмованість двигуна 5...99с; напрямок обертів: пряме, зворотнє; потужність двигуна (два режими),0,5...1кВт.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- огляд технічної літератури за вибраним напрямком проектування;
- науково-дослідна частина;
- розробка алгоритму та структурної схеми системи;
- розробка функціональної схеми системи;
- розробка та розрахунок принципової схеми системи.

Перелік графічного матеріалу: креслення схеми алгоритму; креслення схеми електричної структурної; креслення схеми електричної функціональної; креслення схеми електричної принципової.

Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О. М.		

Дата видачі завдання 20.09. 2020 р.

Керівник роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Перелік етапів виконання роботи:

Термін виконання:

- | | |
|--|----------------|
| 1.Огляд літератури та постановка задачі проектування | 10.10. 2020 р. |
| 2. Науково-дослідницька частина | 20.10. 2020 р. |
| 3. Розробка алгоритму функціонування | 25.10. 2020 р. |
| 4. Розробка та обґрунтування структурної схеми | 30.10. 2020 р. |
| 5. Розробка функціональної схеми | 05.11. 2020 р. |
| 6. Розробка та розрахунок принципової схеми | 15.11. 2020 р. |
| 7.Техніко-економічна частина | 25.11. 2020 р. |
| 8. Оформлення пояснювальної записки | 30.11.2020 р. |
| 9. Оформлення графічного матеріалу | 10.12. 2020 р. |
| 10. Представлення роботи на рецензування | 15.12. 2020 р. |

Студент _____

Керівник роботи _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 65 сторінок, 33 малюнків, 4 таблиці, 5 розділів тексту.

Графічна частина роботи містить алгоритм, структурну, функціональну та принципову схеми.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел по вибраному напрямку проектування.

Другий розділ присвячений науково-дослідній частині.

Третій розділ містить розробку та обґрунтування алгоритму функціонування і структурної схеми пристрою.

Четвертий розділ присвячений розробці функціональної схеми пристрою та розрахунок принципової схеми пристрою.

У п'ятому розділі виконані розрахунки собівартості виготовлення пристрою.

Приведені 15 літературних джерел. За результатами роботи зроблені висновки.

Ключові слова: електропривід, перетворювач частоти, тахогенератор, транзистор, фільтр, інвертор.

Key words: electric drive, frequency converter, tachogenerator, transistor, filter, inverter.

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Огляд літератури за обраним напрямком проектування	7
1.1 Загальні відомості перетворювачів частоти	7
1.2 Класифікація перетворювачів частоти	8
1.3 Основні налаштування перетворювачів	15
1.4 Рекомендації щодо вибору перетворювачів частоти.....	15
1.5 Постановка задачі проекрованої системи	21
2. Науково-дослідницька частина	23
2.1 Способи управління частотними перетворювачами	23
2.2 Принцип роботи частотного перетворювача	27
2.3 Широтно-імпульсна модуляція напруги у перетворювачах частоти	32
2.4 Експлуатаційні схеми підключення.....	34
3 Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми проектованого пристрою	40
3.1 Розробка алгоритму функціонування	40
3.2 Розробка структурної схеми	41
4 Розробка принципової та функціональної схем проектованого пристрою	44
4.1 Розробка функціональної схеми.....	44
4.2 Розробка та розрахунок принципової схеми пристрою	45
4.2.1 Вибір елементної бази	45
4.2.2 Розробка принципової схеми	46
4.2.3 Управління семисегментними індикаторами.....	51
4.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми	53
4.3.1 Розрахунок датчика струму	53
4.3.2 Розрахунок компенсаційного стабілізатора напруги	55

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Саганяк</i>			Перетворювач частоти з векторним методом керування силовими елементами. Пояснювальна записка.	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Новгородцев</i>					3	65
Реценз.						СумДУ ЕСМ-91		
Н. Контр.		<i>Гапич</i>						
Затверд.		<i>Опанасюк</i>						

5. Техніко - економічна частина.....	58
5.1 Розрахунок собівартості виготовлення системи	58
ВИСНОВКИ	64
ЛІТЕРАТУРА	65

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Сучасний електропривід – це електромеханічна система, що включає силовий перетворювач, електродвигун, передавальний механізм і систему керування, яка призначена для приведення в рух робочих органів машин і механізмів. Він є основний споживач електроенергії, тобто більше 60% усієї електроенергії, яка виробляється в країні перетворюється на механічну роботу за допомогою електропривода. За останні роки гострою стала проблема економії електроенергії. Ця проблема ефективно розв'язується за допомогою удосконалення електрозбереження в електроприводі [11].

В сучасному світі з'явилося більше можливостей розширення функцій, які виконуються сучасними автоматизованими електроприводами, включаючи керування режимами енергозбереження, діагностування несправностей. Головною частиною регульованого електропривода є керований силовий перетворювач, який забезпечує плавне регулювання швидкості електричних двигунів шляхом перетворення фіксованих значень напруги і частоти мережі на величини, що змінюються. Перетворювачі частоти включають в себе принципи побудови, критерії вибору і захисні функції.

Перетворювачі частоти дозволяють змінювати швидкість обертання електродвигуна при постійному значенні. Дуже важливо зробити правильний вибір перетворювача, від якого залежить ефективність і ресурс роботи перетворювача частоти і всього електропривода в цілому.

Щоб забезпечити захист двигуна, треба правильно підібрати потужність перетворювача. Якщо потужність перетворювача буде занадто завищена, то двигун не буде захищений. З іншого боку, якщо потужність перетворювача невелика, він не зможе забезпечити необхідний динамічний режим роботи і через перевантаження може вийти з ладу. Правильна експлуатація також впливає на термін дії перетворювача. При виборі ПЧ необхідно керуватися не тільки потужністю двигуна, а також діапазоном робочих швидкостей двигуна, діапазоном робочих моментів обертання, характером навантаження і циклограмою роботи.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найчастіше застосовуються трифазні асинхронні машини, які працюють як електродвигуни, потужністю від частки вата до десятків тисяч кіловат. На практиці їх застосовують не тільки як асинхронний електродвигун, але і в якості генератору змінного струму, електромагнітного гальма, перетворювача частоти, трансформатора з обертовим магнітним полем.

Асинхронні машини з живленням від однофазної мережі знайшли широке застосування у схемах автоматики і побутових приладах. Більш всього, це двигуни малої потужності (мікродвигуни).

Особливістю однофазних асинхронних машин є наявність пускової обмотки, для утворення обертового магнітного поля під час пуску.

Основні схеми їх такі:

- 1) схема з підвищеним активним опором пускової обмотки;
- 2) схема з увімкненою в коло пускової обмотки ємністю;
- 3) схема з екрануючим короткозамкненим витком на полюсі.

Трифазні асинхронні машини, в порівнянні з однофазними, мають кращі пускові та робочі характеристики і вищі економічні показники.

					<i>ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ОБРАНИМ НАПРЯМКОМ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Загальні відомості перетворювачів частоти

Перетворювач частоти (ПЧ) в електроприводі є силовим перетворювачем електричної енергії, вхід якого підключений до мережі живлення з нерегульованими значеннями напруги U_1 і частоти f_1 , а на виході забезпечуються регульовані значення напруги U_2 (чи струму I_2) і частоти f_2 залежно від завдання чи керуючих сигналів U_k (рис.1).

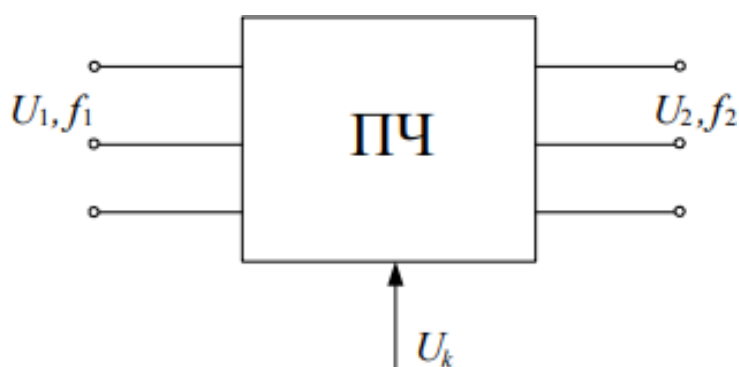


Рисунок 1 – Перетворювач частоти в електроприводі

Використання ПЧ забезпечує економічні способи регулювання швидкості і моменту електродвигунів змінного струму. Залежно від типу електропривода ПЧ може бути підключеним між мережею живлення та обмоткою статора двигуна (частотно-керований ЕП, рис.2, а), або між роторною обмоткою двигуна та мережею живлення (наприклад, в ЕП з машиною подвійного живлення, як це показано на рис.2, б). Таке включення дозволяє зменшити встановлену потужність ПЧ, проте вимагає використання електродвигуна з фазним ротором.

Схема будь-якого перетворювача частоти складається із силової та керуючої частин. Силова частина виконана на тиристорах чи транзисторах, які працюють у режимі електронних ключів. Керуюча частина виконується з використанням цифрових мікропроцесорів і забезпечує керування силовими

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електронними ключами, а також розв'язання великої кількості допоміжних задач (контроль, діагностика, захист).

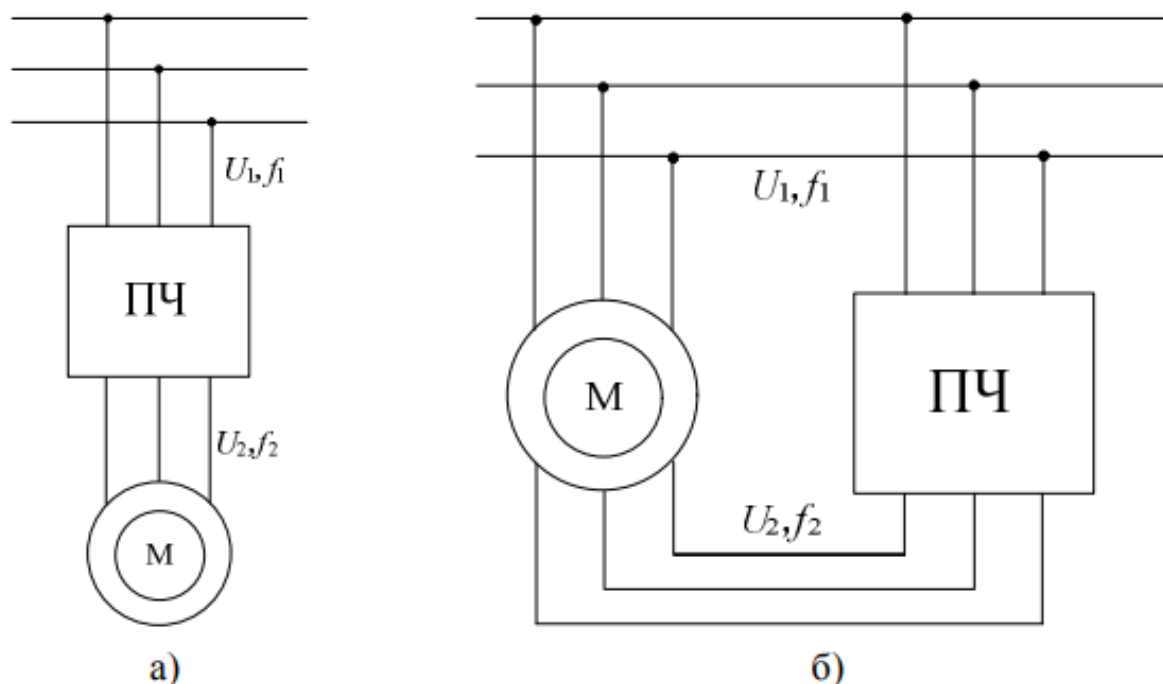


Рисунок 2 – Перетворювач частоти в електроприводі (можливі схеми підключення)

а – між мережею живлення та статорною обмоткою; б – між роторною обмоткою та мережею живлення.

1.2 Класифікація перетворювачів частоти

Наведено умовну класифікацію перетворювачів частоти (рис.3), у якій виділено чотири класифікаційні ознаки. Залежно від величини номінальної напруги перетворювачі бувають низьковольтними (220 В, 380 В, 660 В) і високовольтними (1140 В, 3 кВ, 6 кВ, 10 кВ).

Розрізняють два основні принципи керування перетворювачами частоти – скалярне і векторне.

При скалярному керуванні відбувається формування фазних напруг на основі заданих значень амплітуди і частоти, які отримуються шляхом широтноімпульсної модуляції (ШІМ).

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3 – Класифікація перетворювачів частоти

Скалярне керування забезпечує постійну перевантажувальну здатність електропривода незалежно від частоти напруги, проте має місце зниження моменту, що створюється двигуном, при низьких частотах (при $n f < 0,1 f$).

Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору для ЕП зі скалярним керуванням досягає 1:10. Розширення діапазону здійснюється за рахунок IR або IZ компенсації (Boost). Даний принцип є найбільш простим способом реалізації частотного керування і використовується для привода механізмів, які не висувають високих вимог до якості регулювання швидкості. У першу чергу, це стосується електроприводів насосів, вентиляторів, компресорів. Даний клас механізмів має широку потенційну здатність енерго і ресурсозбереження, які успішно реалізуються при впровадженні вказаного типу перетворювачів. Недоліками скалярного керування без зворотних зв'язків (при законі керування $U/f = \text{const}$) є: низька якість регулювання швидкості як керуючої, так і збурюючої дії; відсутність режиму роботи на упор, тобто при надмірних моментах навантаження привод вимикається під дією струмового захисту; важко реалізувати керування потокозчепленням у функції моменту двигуна.

На сьогодні сформувалося два основні класи систем векторного керування: бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи зі зворотним зв'язком за швидкістю. Вибір того чи іншого методу векторного керування визначається галуззю використання електропривода.

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При невеликих діапазонах зміни швидкості (не більше 1:100) і вимогах до точності не більше $\pm 0,5$ % використовують бездатчикове векторне керування. Якщо швидкість обертання валу змінюється в широких межах (до 1:10000 і вище) і висувуються вимоги до високої точності підтримки швидкості обертання (до $\pm 0,02$ % при частотах обертання менше 1 Гц.) або, якщо необхідне позиціонування валу, а також за необхідності регулювання моменту на валу двигуна на дуже низьких частотах обертання, використовують методи векторного керування зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Використання векторного керування має наступні переваги:

- висока точність регулювання швидкості;
- плавне, без ривків, обертання двигуна в області малих частот;
- здатність забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості (за наявності датчика швидкості);
- швидка реакція на зміну навантаження: при різких стрибках навантаження практично не відбуваються стрибки швидкості;
- забезпечення такого режиму роботи двигуна, при якому знижуються втрати на нагрівання і намагнічування, підвищення КПД.

Залежно від структури і принципу роботи силової частини розрізняють два класи перетворювачів частоти:

- з явно вираженою проміжною ланкою постійного струму;
- з безпосереднім зв'язком (без проміжної ланки постійного струму).

Кожен із класів перетворювачів має свої переваги і недоліки, які визначають галузь раціонального їх використання.

Перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком являє собою керований випрямляч, виконаний на базі тиристорів. Система керування по чергово відкриває групи тиристорів і підключає обмотки статора двигуна до мережі живлення. Таким чином, вихідна напруга перетворювача формується із «вирізаних» ділянок синусоїди вхідної напруги.

На рис.4 показано приклад формування вихідної напруги для однієї з фаз навантаження. На вході перетворювача отримується трифазна синусоїдальна

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруга. Напруга на виході вих і має несинусоїдальну «пилоподібну» форму, яку умовно можливо апроксимувати синусоїдою (товста лінія). «Різана» синусоїда на виході перетворювача є джерелом вищих гармонік, які викликають додаткові втрати в електричному двигуні, перегрівання електричної машини, зниження моменту, перешкоди в мережі живлення. Використання компенсуючих пристроїв призводить до підвищення вартості, маси, габаритів, зниження ККД системи в цілому.

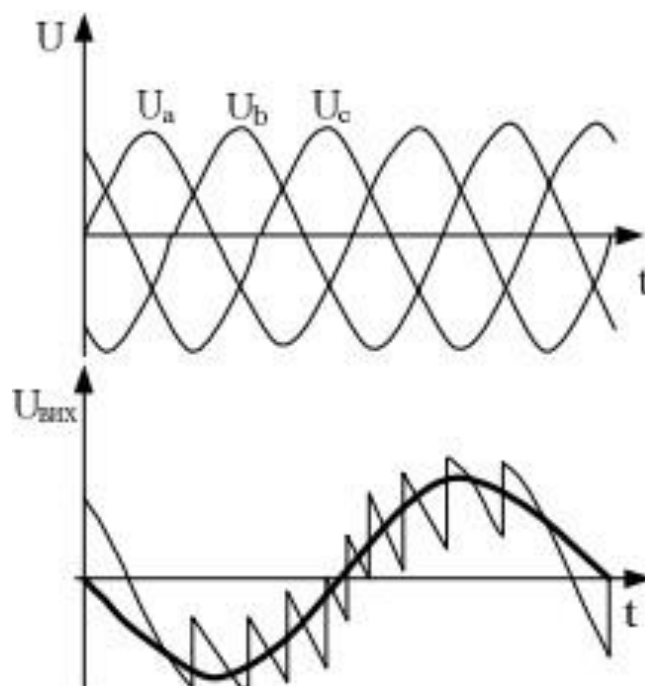


Рисунок 4 – Приклад формування вихідної напруги для однієї з фаз навантаження для ПЧ з безпосереднім зв'язком.

Проте перетворювачі з безпосереднім зв'язком мають також і переваги:

- практично найвищий ККД відносно інших перетворювачів (до 98 %);
- здатність працювати з високими напругами і струмами, тобто використання їх у потужних високовольтних електроприводах;
- відносно невисока вартість, не дивлячись на підвищення абсолютної вартості за рахунок схем керування і додаткового обладнання.

До даного виду перетворювачів належать циклоконвертори і матричні перетворювачі.

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Основними перевагами матричного перетворювача є:

- однократне перетворення електроенергії;
- відсутність ланки постійного струму;
- двосторонній обмін енергією між мережею живлення і двигуном;
- чотириквADRANTНИЙ режим роботи електродвигуна;
- вхідний струм близький до синусоїди;
- керований коефіцієнт потужності близький до одиниці.

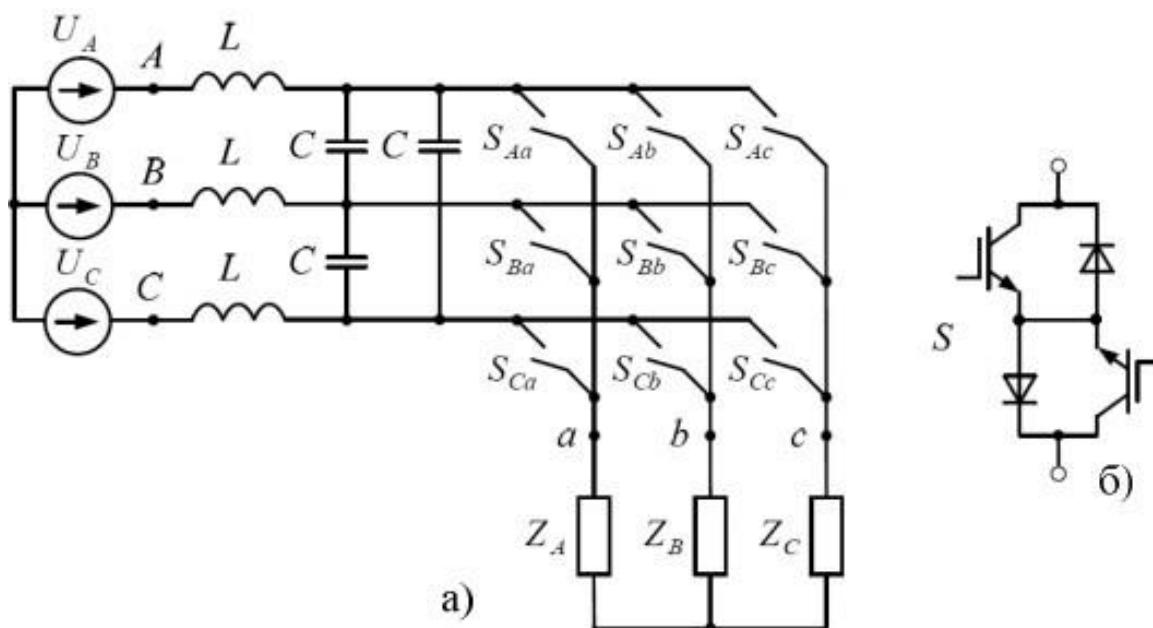


Рисунок 5 – Структурна схема матричного перетворювача частоти (а) і схема симетричного двонаправленого ключа (б)

Дані перетворювачі частоти використовуються для машин подвійного живлення вітрогенераторів, в електронних системах стабілізації частоти при змінній швидкості вала, у високодинамічних електроприводах з рекуперацією енергії гальмування в мережу живлення. У перетворювачах частоти з проміжною ланкою постійного струму використовується подвійне перетворення електричної енергії: вхідна синусоїдальна напруга з постійною амплітудою та частотою вирівнюється, фільтрується, згладжується, а потім знову перетворюється інвертором на змінну напругу змінної частоти і амплітуди. Подвійне

перетворення енергії призводить до зниження ККД і погіршення масо-габаритних показників відносно перетворювачів з безпосереднім зв'язком.

Зупинимось на особливостях побудови структури силового кола і керування перетворювачем частоти відповідно до вимог і стратегії частотного керування електричних машин змінного струму.

До основних вимог належать:

- формування квазисинусної напруги чи струму в широкому діапазоні вихідної частоти;
- регулювання вихідної напруги чи струму відповідно до прийнятої стратегії частотного керування; – забезпечення чотириквadrантного режиму роботи двигуна;
- обмеження по можливості впливу гармонік вхідних струмів на мережу і вихідних струмів на роботу двигуна.

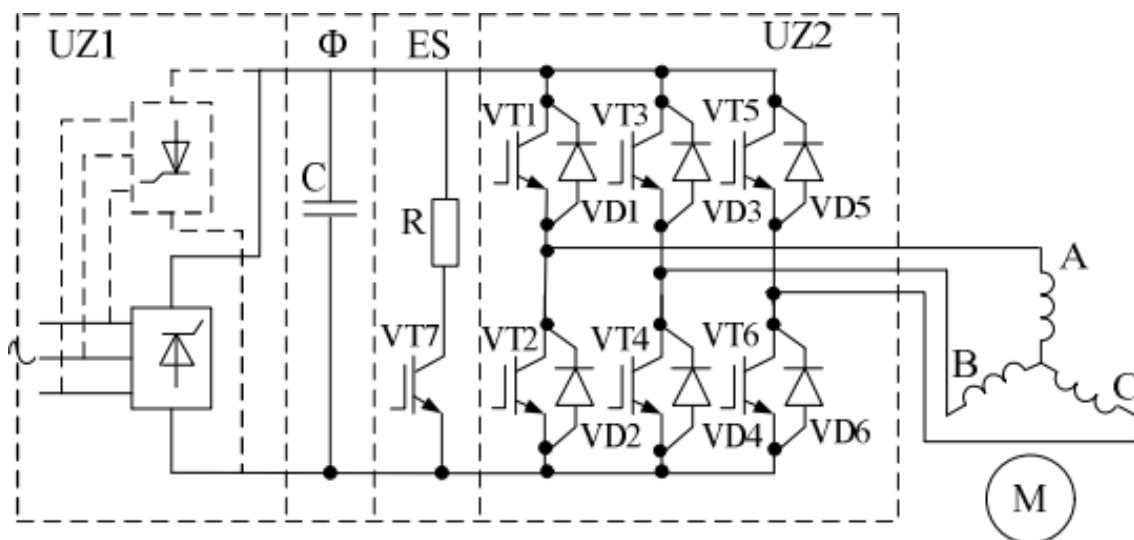
Існують два типи перетворювачів з проміжною ланкою постійного струму: ПЧ з автономним інвертором напруги (АІН) і автономним інвертором струму (АІС). Перший тип перетворювачів має властивості джерела напруги, який формує на виході періодичну криву напруги, а форма струму визначається властивостями навантаження. Інший тип перетворювачів забезпечує на виході деяку, наперед задану форму струму, а напруга залежить від властивостей навантаження.

Перетворювачі частоти з автономними інверторами складаються з трьох силових блоків: керованого чи некерованого випрямляча $UZ1$, силового фільтра Φ (типу C чи LC) в ланці постійного струму та автономного інвертора $UZ2$ (рис.6, а). Автономний інвертор може бути виконаним на основі одноопераційних тиристорів з їх штучною комутацією, на GTO тиристорах чи на повністю керованих силових транзисторах (найчастіше на базі IGBTмодулів, до складу яких входять транзистор з ізольованим затвором і шунтуючий його силовий діод).

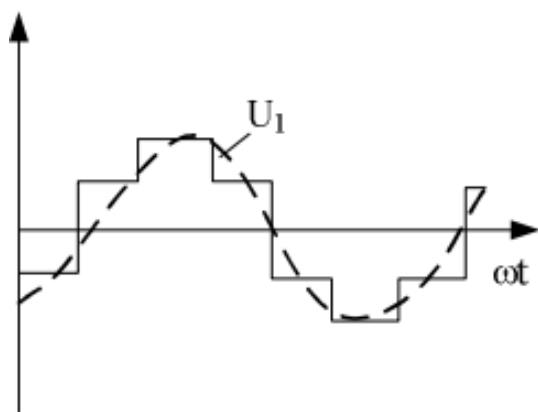
АІН (рис.6, а) є джерелом напруги. Завдяки ємності C фільтра Φ і зворотним діодам $VD1$ - $VD6$, які підключені паралельно до силових ключів $VT1$ -

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

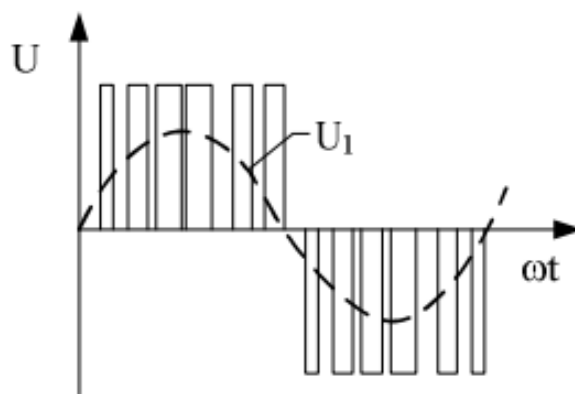
VT6, при роботі АІН на активно-індуктивне навантаження, до якого також належить асинхронний двигун, забезпечується обмін реактивною енергією між АД і ланкою постійного струму. Вони забезпечують нерозривність кола струму в обмотках М при відключенні їх від джерела живлення в процесі комутації та повернення збереженої енергії до конденсатора фільтра.



a)



б)



в)

Рисунок 6 – Схема силової частини АІН (а) і діаграми його вихідних напруг при АІМ (б) і ШІМ (в)

Вихідна напруга АІН може регулюватися двома способами: – при керуваному випрямлячі UZ1 – зміною напруги в ланці постійного струму, при

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

цьому інвертор виступає комутатором фаз, який формує необхідну частоту (АІН з амплітудно-імпульсною модуляцією АІМ) (рис.6, б); – при некерованому випрямлячі – широтно - імпульсним регулюванням напруги в інверторі за рахунок модуляції напруги несучої частоти (частоти комутації силових ключів) сигналом необхідної частоти (АІН із широтно - імпульсною модуляцією ШІМ) (рис.6, в). Найчастіше у сучасних ПЧ використовують другий принцип керування.

1.3 Основні налаштування перетворювачів

Для кращого використання двигуна та отримання високих енергетичних показників його роботи (коефіцієнтів потужності, корисної дії та перевантажувальної здатності) одночасно із частотою необхідно регулювати і напругу, яка підводиться до двигуна. Співвідношення частоти і напруги отримало назву закону частотного керування. При виборі співвідношення між частотою і напругою, яка підводиться до статора асинхронного двигуна, найчастіше виходять з умови збереження перевантажувальної здатності асинхронного двигуна, тобто кратності критичного моменту M_k до моменту статичного навантаження M_c , для будьякої з регулювальних механічних характеристик.

1.4 Рекомендації щодо вибору перетворювачів частоти

Дуже важливо зробити правильний вибір перетворювача, від якого залежить ефективність і ресурс роботи перетворювача частоти і всього електропривода в цілому. Так, якщо потужність перетворювача буде занадто завищена, то він не зможе необхідною мірою забезпечити захист двигуна. З іншого боку, якщо потужність перетворювача невелика, він не зможе забезпечити високодинамічний режим роботи і через перевантаження може вийти з ладу.[1]

На відміну від синхронного генератора в синхронному двигуні вісь полюсів ротора відстає від осі полюсів обертового магнітного поля статора.

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виникає при цьому електромагнітний момент дорівнює протидії гальмівним моментом на валу двигуна.

У синхронному двигуні здійснюється перетворення електричної енергії в механічну.

Результуючий момент синхронного двигуна, що виникає в результаті взаємодії магнітного поля статора з нерухомим збудженим ротором, при пуску двигуна, близький до нуля. Тому ротор двигуна необхідно розкручувати тим чи іншим способом до частоти обертання, близької до синхронної. В недалекому минулому для розкручування ненагруженого синхронного двигуна застосовувався спеціальний розгінний асинхронний, двигун невеликої потужності і синхронний двигун синхронізуватися з мережею, як генератор при включенні на паралельну роботу. Складність пуску в хід була істотним недоліком синхронних двигунів, який перешкоджав їх поширенню. В даний час всі ці труднощі відпали завдяки застосуванню дуже простого асинхронного пуску синхронного двигуна. У конструкції заводу «Електросила» спеціальної короткозамкненою обмотки на роторі двигуна немає, а її роль виконують сам масивний сердечник ротора і металеві клини, закладені в пази ротора, а також бандажі, які не мають з сердечником ротора електричного з'єднання.

У синхронних двигунах малої потужності роль обертового постійного електромагніту виконує постійний магніт, виготовлений з магнітно - твердого матеріалу і укріплений на осі ротора. У такому двигуні відпадає необхідність в додатковому джерелі постійного струму. Пуск такого двигуна здійснюється зазвичай безпосереднім підключенням його фазних обмоток статора до електричній системі. Для виникнення асинхронного моменту при пуску двигуна в парах полюсів постійного магніту розташовуються стрижня короткозамкненої обмотки. [2]

Основними складовими частинами синхронного електродвигуна є: статор, який нерухомий, і ротор, іншими словами, індуктором. Статор має іншу назву - якір, але від цього його суть не змінюється. Ці частини двигуна розділені

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

прошарком повітря. Між пазами закладена трифазна обмотка, яка найчастіше має з'єднання за схемою зірки.

Коли двигун після запуску почав працювати, струми якоря утворюють рухається

магнітне поле, його обертання дає перетин поля індуктора. В результаті такої роботи двох полів виникає енергія. Магнітне поле статора за своєю суттю є полем його реакції. В роботі генераторів таку енергію отримують за допомогою індукторів.

Полюсами є електромагніти статора, що працюють на постійному струмі. Статори синхронних двигунів можуть виконуватися за різними схемами: неявнополюсного, а також явнополюсної. Вони відрізняються становищем полюсів. [3]

У керованих випрямлячах діоди замінені тиристорами. Подібно діоду тиристор пропускає струм тільки в одному напрямку - від анода (А) до катода (К). Однак на противагу діоду тиристор має третій електрод, званий "затвором" (G). Щоб тиристор відкрився, на затвор повинен бути поданий сигнал. Якщо через тиристор тече струм, тиристор буде пропускати його до тих пір, поки струм не стане рівним нулю. Струм не може бути перерваний подачею сигналу на затвор. Тиристори використовуються як в випрямлячах, так і в інверторах. Діоди дозволяють току протікати тільки в одному напрямку: від анода (А) до катода (К). Як і в разі деяких інших напівпровідникових приладів, величину струму діода регулювати неможливо. Напруга змінного струму перетворюється діодом в пульсує напруга постійного струму. Якщо некерований трифазний випрямляч харчується трифазним напругою змінного струму, то і в цьому випадку напруга постійного струму буде пульсувати. [4]

Для регулювання швидкості електродвигуна використовується ШІМ напруга на виході перетворювача частоти. Перетворювачі працюють в якості інтерфейсу між джерелом енергії (лінії електроживлення) і асинхронним електродвигуном. Для того щоб отримати вихідний сигнал необхідного напруги і

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частоти, вхідний сигнал повинен пройти три етапи: діодний міст, випрямлення вхідної напруги змінного струму постійної амплітуди і частоти.

Скалярне управління засноване на оригінальній концепції перетворювачів частоти: сигнал певного співвідношення напруга / частота подається на клемі електродвигуна і це співвідношення зберігається постійним у всьому діапазоні частот, для того щоб зберегти постійним потік намагнічування електродвигуна.

Скалярний управління зазвичай використовується, коли немає необхідності швидкого реагування на зміни завдання крутного моменту і швидкості, і особливо цікаво, коли одним перетворювачем регулюється швидкість обертання декількох підключених до нього електродвигунів. Управління проводиться без зворотного зв'язку, і точність підтримки швидкості є функцією ковзання двигуна, яке залежить від навантаження, так як частота накладається на обмотці статора.

Для того, щоб поліпшити продуктивність двигуна на низьких швидкостях, деякі приводи використовують спеціальні функції, такі як компенсація ковзання (ослаблення зміни швидкості як функції навантаження) і підвищення крутного моменту (збільшення коефіцієнта V/F для компенсації падіння напруги на статорі), так що крутний момент мотора підтримується постійним. Це є найбільш широко використовуваним типом управління завдяки своїй простоті, а також тому, що більшість додатків не вимагають високої точності або швидкої зміни швидкості.

Векторне управління забезпечує високі швидкодія і точність управління швидкістю електродвигуна і крутного моменту. По суті струм двигуна поділяють на два вектора, один з них виробляє потік намагнічування, а інший утворює крутний момент, кожен з яких регулюється окремо. Векторне управління може бути з розімкненим контуром (без датчиків зворотного зв'язку) або із замкнутим контуром (з датчиками зворотного зв'язку). Зворотній зв'язок по швидкості - датчик швидкості (наприклад, інкрементальний енкодер), встановлюється на електродвигуні. Даний режим забезпечує високу точність управління, як крутним моментом, так і швидкістю двигуна навіть при дуже низьких (і нульовій) швидкостях. Бездатчикового управління - простіше, ніж регулювання

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

із замкнутим контуром, але його дія обмежена особливо на дуже низьких швидкостях. На більш високих швидкостях даний режим практично так само гарний, як і векторне управління зі зворотним зв'язком. Основна відмінність між цими двома типами управління полягає в тому що, що скалярний управління враховує тільки величини миттєвих електричних величин (магнітного потоку, струму і напруги), прикладених до статора, з рівняннями на основі еквівалентної електричного кола електродвигуна, тобто рівняннями стаціонарного стану. З іншого боку, при векторному керуванні розраховуються миттєві електричні величини, що впливають на потік зчеплення ротора в якості векторів і його рівняння ґрунтуються на просторової динамічної моделі двигуна. Асинхронний двигун при векторному керуванні розглядається як двигун постійного струму, з окремо керованими моментом і потоком. [5]

Асинхронний двигун складається з двох основних частин: нерухомої частини статора і ротора. Статор збирається з листів електротехнічної сталі. У пазах його розміщується обмотка. Статор поміщений в корпусі. Ротор, що збирається також з листів електротехнічної сталі з пазами для розміщення обмотки, зміцнюється на сталевому валу. Вал обертається в підшипниках, встановлених в підшипникових щитах. Розрізняють асинхронні двигуни з фазним і короткозамкненим ротором. Перші мають на роторі обмотку, аналогічну стартерній. Кінці обмотки ротора через контактні кільця виводяться назовні. Обмотка коротко-замкнутого ротора виконана у вигляді білячої клітини.

При підключенні до трифазної мережі змінного струму обмотки статора асинхронного двигуна з'єднуються в зірку або в трикутник. Трифазні струми, проходячи по обмоткам, утворюють обертове магнітне поле. [6]

У промисловості широко використовують асинхронні двигуни прості за конструкцією, надійні і дешеві електричні машини. Добре відомі способи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів додатковими резисторами в роторі, зниженням частоти струму, зміною числа полюсів статора. Для отримання точної зупинки перші два методи застосовують рідко. Додаткові резистори не можуть забезпечити стійку низьку частоту обертання через м'якість

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічних характеристик при малих моментах навантаження істотно знизити частоту обертання неможливо.

Зміна частоти струму дає хороші результати. Однак для нерегульованих електроприводів, що вимагають лише, точної зупинки, цей метод в даний час використовують рідко через необхідність установки спеціального перетворювача частоти.

Високошвидкісні двигуни з успіхом застосовують для отримання точної зупинки ряду механізмів, зокрема ліфтів. Однак високошвидкісні двигуни єдиної серії 4А (з перемиканням числа полюсів обмотки статора) не мають зниженою синхронної частоти обертання менш 500 об / хв (33% високої частоти обертання). Для отримання високої точності зупинки цього недостатньо. [7]

Перевагами асинхронних двигунів (АД) є їх простота, надійність, невисока вартість. Одним із суттєвих недоліків АД є відносно невисокий коефіцієнт потужності, особливо при навантаженнях на валу, менших номінального значення. Це пов'язано зі споживанням двигуном з мережі реактивної потужності, частка якої в балансі повній потужності особливо зростає в зазначених режимах навантаження. Реактивні струми навантажують електричні мережі, призводять до появи в них додаткових втрат електричної енергії, які залежать від квадрата струму, зумовлюють необхідність вибору проводів і кабелів більшого перетину. [8]

Режим роботи асинхронного двигуна (момент, швидкість, струм, втрати, к. і.д.і коефіцієнт потужності) однозначно визначається при даній частоті, якщо задані потік двигуна і абсолютне ковзання або струм статора і абсолютне ковзання. Це властивість асинхронного двигуна визначило відповідно два різні способи частотного керування:

– частотне керування, при якому в якості керуючих факторів прийняті частоти і напруги на статорі (ЧПК);

– частотне керування, при якому в якості керуючих факторів прийняті частота і струм статора (Частотно-струмове керування, ЧСК).

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перший спосіб є традиційним і досить розробленим, другий розроблений в значно меншому ступені, причому, в останні приблизно десять років, хоча принципи цього управління вперше був сформульовані Г.М. Штурманом ще в 1946 р. Обидва способи дозволяють вирішити одні й ті ж завдання ціною подолання специфічних для кожного з них технічних труднощів. Тому при класифікації систем їх доцільно розглядати паралельно. [9]

Захист від перевантаження або тепловий захист, оберігає двигун від неприпустимого перегріву при порівняно невеликих за величиною, але тривалих перевантаженнях. Апарати теплового захисту (теплові реле, автоматичні вимикачі з тепловим розцеплювачем) при виникненні перевантаження відключають двигун з певною витримкою часу, тим більшою, чим менше перевантаження.

Захист від роботи на двох фазах оберігає двигун від неприпустимого перегріву, який може наступити внаслідок обриву проводу або перегорання запобіжника в одній з фаз головної пені. Захист діє на відключення двигуна. Як апаратів захисту застосовуються як теплові, так і електромагнітні реле. В останньому випадку захист може не мати витримки часу.

Захист мінімальної напруги (нульовий захист) виконується за допомогою одного або декількох апаратів, і діє на відключення двигуна при зниження напруги мережі, нижче встановленого значення, запобігаючи можливого перегріву двигуна і небезпеку його виходу з ладу, зупинки внаслідок зниження електричного моменту. Нульовий захист охороняє також двигун від самовільного включення після перерви живлення.[10]

1.5 Постановка задачі проектованої системи

Головною задачею на випускнуну кваліфікаційну роботу магістра є розробка частотного перетворювача з векторним методом, керування силовими елементами, проведення дослідження способів керування ними.

Для виконання даної задачі необхідно виконати наступні пункти:

– огляд існуючих пристроїв у вибраному напрямленні проектування;

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

- способи керування частотними перетворювачами
- розробка алгоритма ы структурної схеми;
- розробка функціональної принципової схеми;
- економічні розрахунки собівартості виготовлення пристрою.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2 Науково-дослідницька частина

2.1 Способи управління частотними перетворювачами

Частотники - це універсальні пристрої, призначення яких не тільки регулювання обертів, але й захист електродвигуна від неправильних режимів роботи і електроживлення, а також від перевантаження. Оберти можуть регулюватися різними способами. Це може бути спосіб установки необхідної частоти і спосіб регулювання.

За способом управління частотники діляться на два типи:

- з скалярним керуванням;
- з векторним керуванням.

Пристрої першого типу регулюють частоту по заданій функції U/f , внаслідок разом з частотою змінюється і напруга. Приклад такої залежності напруги від частоти наведено нижче.

Вона може програмуватися під конкретне навантаження, а також відрізнятися. На вентиляторах вона не являється лінійною, а буде нагадувати гілку параболи. Магнітний потік підтримує такий принцип роботи в зазорі між ротором і статором майже постійним.

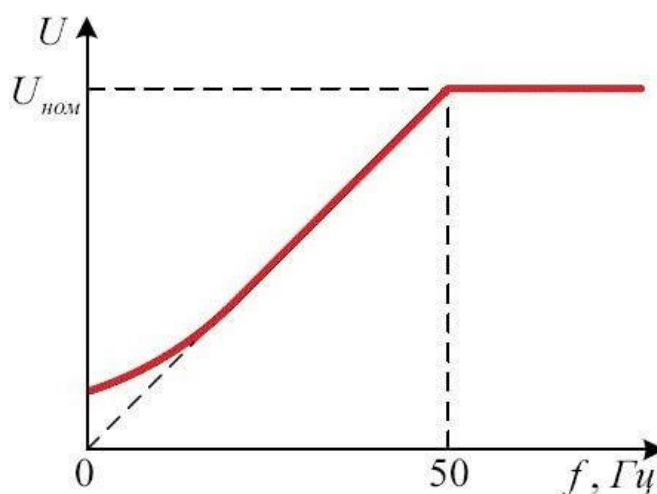


Рисунок 7 – Скалярна функція регулювання

					ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Відмінністю скалярного керування є його відносна простота реалізації та його поширеність. Найбільше всього використовують для насосів, компресорів та вентиляторів. Такі частотники частіше використовують, коли потрібно додержуватися стабільного тиску (або інший параметр), якщо взяти побутове застосування, то це можуть бути глибинні насоси для свердловин.

Скалярне керування, розглядаючи, як сферу застосування на виробництві, досить широка. Воно може бути примінено регулюванні тиску в трубопроводах і продуктивності автоматичних систем вентиляції. Діапазон регулювання переважно складає 1:10, тобто максимальна швидкість від мінімальної може відрізнятись в 10 разів. Через особливості реалізації алгоритмів і схемотехніки такі пристрої зазвичай дешевше, що і є основною перевагою.



Рисунок 8 – Частотні перетворювачі різної напруги

Недоліки:

- не надто точна підтримка обертів.
- повільніша реакція на зміну режиму.
- найчастіше немає можливості контролювати момент на валу.
- з ростом швидкості понад номінальну падає момент на валу двигуна (тобто коли піднімаємо частоту вище номінальних 50 Гц).

Це пов'язано з тим, що напруга на виході залежить від частоти. При номінальній частоті напруга дорівнює мережевій, а вище частотник піднімати «не вміє». На графіку можна побачити рівну частину епюри після 50 Гц. На підставі вище викладеного можемо зазначити залежність моменту від частоти, яка падає за законом $1/f$, на графіку нижче зображена червоним, а залежність потужності від частоти синім.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 9 – Залежність напруги і моменту на валу двигуна від частоти

Інший принцип мають перетворювачі частоти з векторним керуванням роботи. Тут не тільки напруга відповідає кривій U/f . Для того, щоб на валу підтримувався певний момент змінюються, відповідно до сигналів від датчиків, характеристики вихідної напруги.

Такий спосіб керування потрібен для більш точного і швидкого регулювання. Це головні відмінні риси частотного перетворювача з векторним керуванням. Це особливо важливо в таких механізмах, де принцип дії пов'язаний з різкою зміною навантаження і моменту на виконавчому органі.

Переваги:

- постійна стабільність роботи і точність;
- більш швидка реакція на зміни навантаження і високий момент на низькій швидкості;
- ширший діапазон регулювання.

Головний недолік – перетворювачі частоти з векторним керуванням коштують дорожче, ніж скалярні.

Таке навантаження характерне для токарних та інших видів верстатів, в тому числі ЧПУ. Точність регулювання до 1,5%, діапазон регулювання - 1: 100, для більшої точності з датчиками швидкості та ін. - 0,2% і 1: 10000 відповідно.

Постійний крутний момент або постійну швидкість (в залежності від попередньо вибраних налаштувань) дозволяє підтримувати векторний режим керування. Режими керування ще бувають і з датчиками зворотного зв'язку, коли на двигун ставиться датчик, він вимірює положення ротора або його швидкість. У такому режимі частотник може підтримувати швидкість з дуже високою точністю.

Під час старту двигуна частотний перетворювач подає на двигун не 50 Гц, а десь 0,1Гц або трохи більше, і напругу не 380 Вольт, а всього близько 20 (в залежності від налаштувань).

В результаті цього, через обмотку статора протікає струм, який не перевищує свого номінального значення, а саме цей струм і створює обертове магнітне поле в повітряному проміжку, яке обертаючись навколо ротора наводить в його обмотці. Струм який взаємодіючий з магнітним полем, і створює крутний момент.

У деяких частотників можна досягти пускового моменту до 200% від номінального, змінюючи налаштування. Потім частотник плавно збільшує частоту і величину напруги, що подається, і в підсумку двигун розганяється. В цей момент потрібно правильно встановити параметри, щоб в процесі розгону, часу на розгін йшло як умога менше, а струм обмотки статора не перевищував її номінального значення, а також, щоб момент на валу був достатнім.

Кращі частотники допускають перевантаження по струму до 200% від номінального свого значення протягом 30 секунд. Зрозуміло, пуски з такими струмами не повинні бути частими.

При примусовому гальмуванні електродвигуна виявляються недоліки, а саме при гальмуванні електродвигун автоматично перетворюється в генератор електроенергії, яку неможливо приміняти. В самому частотнику Частина енергії залишається, але при цьому піднімається напруга на внутрішній шині. Вона може

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

досягнути максимально допустиму межу, і тоді частотник відмовиться далі гальмувати електродвигун і виведе сигнал “Аварія”.

Більшість частотників мають всередині гальмівний транзистор. За його допомогою можна виводити зайву енергію з частотників, але для цього потрібно додатково до цього транзистора підключати гальмівний резистор (нагрівальний елемент), який кріпиться близько до частотників. З вбудованим гальмівним резистором випускається дуже мало частотників. Частотники разом з гальмівним резистором виробляють гальмування електродвигуна набагато швидше, ніж без резистора. На підставі вищевикладеного слідує, що частотники підбирають величину напруги в залежності від частоти, яку він же і регулює. А в залежності від частоти, напруги та швидкості обертання ротора в статорі піде струм. Струм - це величина, яку частотники вимірюють для своїх розрахунків.

Частоту частотники тримають з дуже високою точністю, похибка менше 0,01 частки Гц.[15]

2.2 Принцип роботи частотного перетворювача

В основу частотного перетворювача (інвертор) закладена подвійна зміна форми сигналу живильної електричної мережі.

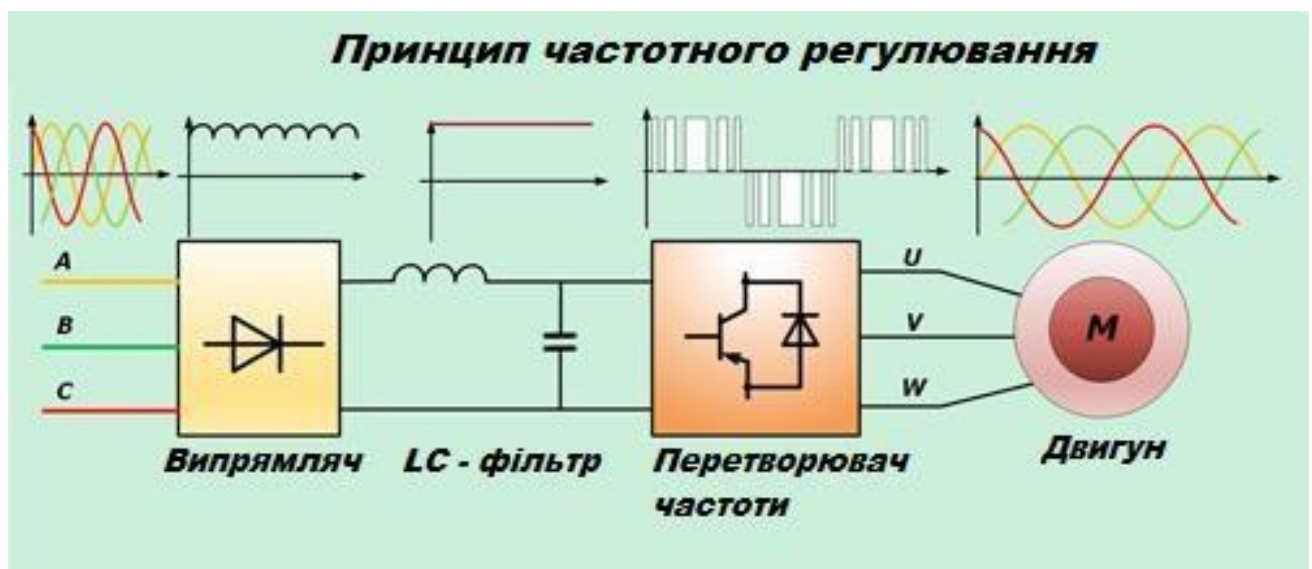


Рисунок 10 – Принцип частотного регулювання

Промислова напруга спочатку подається на силовий випрямний блок з потужними діодами, які прибирають синусоїдальні гармоніки, але залишають пульсації сигналу. Для їх ліквідації передбачена батарея конденсаторів з індуктивністю (LC-фільтр), що забезпечує стабільну, згладжену форму випрямленої напруги.

Потім сигнал надходить на вхід перетворювача частоти, який являє собою бруківку трифазну схему з шести силових транзисторів серії IGBT або MOSFET з діодами захисту від пробую напруги зворотної полярності. Раніше використані для цих цілей тиристри, не володіють достатньою швидкістю і працюють з великими перешкодами.

Може бути встановлений керований транзистор з потужним резистором, що розсіює енергію для включення режиму «гальмування» двигуна в схему. Такий метод дозволяє прибирати генеруючу двигуном напругу, що являється захистом конденсаторів фільтра від перезарядки і виходу з ладу.

Спосіб векторного керування частотою перетворювача дозволяє створювати схеми, які здійснюють автоматичне регулювання сигналу системами САР. Для цього використовується система керування:

- амплітудна;
- ШІМ (широкого імпульсного моделювання).

Метод амплітудного регулювання заснований на зміні вхідної напруги, а ШІМ - алгоритму перемикачів силових транзисторів при постійній напрузі входу.

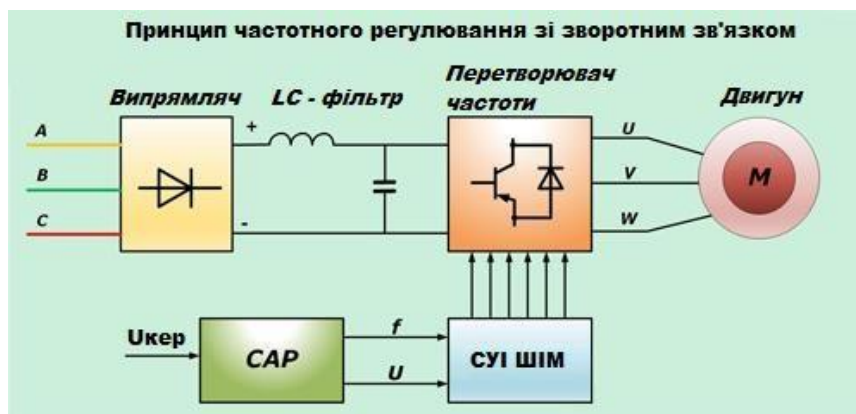


Рисунок 11 – Принцип частотного регулювання зі зворотнім зв'язком

При ШІМ регулювання створюється період модуляції сигналу, коли обмотка статора підключається по строгій черговості до позитивних і негативних висновків випрямляча.

Оскільки частота такту генератора досить висока, то в обмотці електродвигуна, що володіє індуктивним опором, відбувається їх згладжування до синусоїди нормального вигляду.

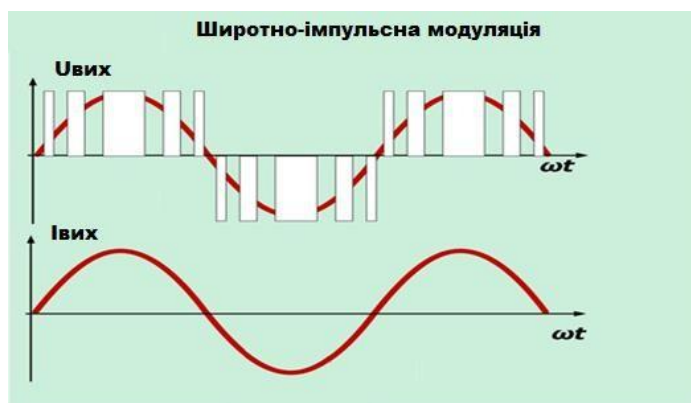


Рисунок 12 – Широтно-імпульсна модуляція

Способи ШІМ керування дозволяють максимально виключити втрати енергії і забезпечують високий ККД перетворення за рахунок одночасного управління частотою і амплітудою. Вони стали доступні завдяки розвитку технологій. Керування силовими елементами, замикаються тиристорами серії GTO або біполярних марок транзисторів IGBT, що володіють ізольованим затвором. Принципи їх включення для управління трифазним двигуном показані на рисунку 13.

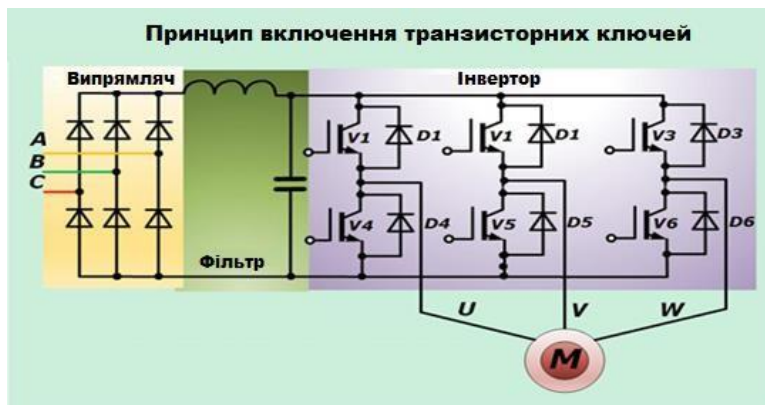


Рисунок 13 – Принцип включення транзисторних ключей

Кожен з шести IGBT-транзисторів підключається по зустрічно-паралельною схемою до свого діоду зворотного струму. При цьому, через силовий ланцюг кожного транзистора проходить активний струм асинхронного двигуна, а його реактивна складова спрямовується через діоди. Перевага векторного керування полягає у високій точності регулювання.

Шляхом зміни частоти і скважності керуючих ключами імпульсів, які генеруються системою керування виконується регулювання частоти і амплітуди трифазної напруги.

Векторне керування – це керування полягає у тому, що при керуванні моментом на валу двигуна необхідно змінювати, як амплітуду так і фазу статорного струму, що означає зміну вектора магнітного потоку у двигуні.

Цей метод використовується у даному перетворювачі і оснований на тому, що вектор магнітного потоку у статорі ротора на протязі одного оберта послідовно займає показане на рис.14 положення $\Phi_0 - \Phi_{300}$, що досягається керуванням ключами, які комутірують струм в обмотках статора, згідно табл.1.

Таблиця 1 Послідовність перемикавання ключів інвертора

Ключ	Вектор					
	Φ_0	Φ_{60}	Φ_{120}	Φ_{180}	Φ_{240}	Φ_{300}
S_1	+	+	+ -	-	-	-
S_2	-	-	-	+	+	+ -
S_3	-	+	+	+ -	-	-
S_4	+ -	-	-	-	+	+
S_5	-	-	+	+	+ -	-
S_6	+	+ -	-	-	-	+

В ній замкнутий стан ключа зазначений знаком (+), а розомкнутий – знаком (-). Кожний із шести ключів замкнутий на протязі більшої частини половини періоду, але розмикається за деякий час до замикання ключа, який

знаходиться між тим же виводом двигуна і протилежним полюсом напруги. На підставі застерігається протікання наскрізного струму через одночасно замкнуті ключі, коли один із них не успів ще розімкнутися, а другий уже замкнувся.

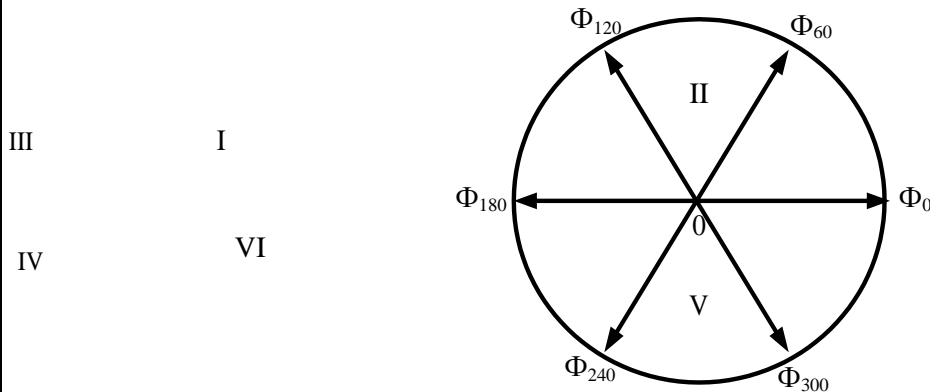


Рисунок 14 – Діаграма положення вектора магнітного потоку в статорі за один оберт ротора.

Векторне керування дозволяє суттєво розширити інтервал зміни частоти, забезпечити точність регулювання, повисити швидкість реакції електропривода на керуючу дію. Зміна ефективного значення трифазної напруги. відповідно зміни частоти, виконується за допомогою тих же ключів. Для цього імпульси, які слідкують за частотою обертів, підлягають ШІМ – додатково модулюються більш високочастотними імпульсами змінної скважності (рис.15).

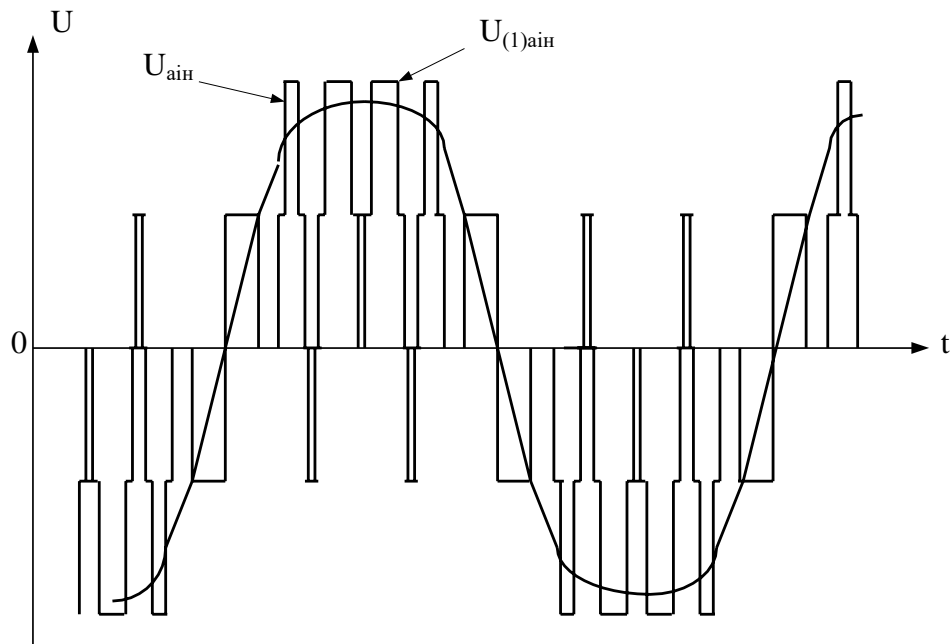


Рисунок 15 – Форма напруги на одній із фазних обмоток статора

Приводить до зростання енергетичних втрат приводить несінусоїдальна форма напруги, яка подається на двигун. Зменшити ці втрати вдається за рахунок ускладнення закону зміни скважності ШІМ, що дозволяє наблизити до сіносоїдального закону зміну середнього значення формованої інвертором напруги на протязі його періода. Нажаль, обмежені ресурси мікроконтролерів не дозволяють це зробити в даному перетворювачі. Втрати виникають і в електронних ключах інвертора. Чим ближче частота ШІМ до граничної робочої частоти ключів, тим втрати більші.

2.3 Широтно-імпульсна модуляція напруги у перетворювачах частоти

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) - це імпульсне керування, при якому ширина імпульсів змінюється (модулюється) на протязі періоду основної частоти для того, щоб створити певну форму вихідної напруги. При цьому частота проходження керуючих імпульсів залишається незмінною. При одноктній модуляції перемикання кожної пари транзисторів виконується зі здвигом по відношенні до другої. В результаті формується напруга у вигляді меандра з нольовими паузами на виході інвертора. Це дозволяє регулювати напругу, змінюючи відносну тривалість ненульових інтервалів (коефіцієнт заповнення γ).

Амплітуда основної гармоніки розраховується як:

$$U_{AB1m} = (4E/\pi) \cdot \sin \gamma\pi/2.$$

Зміна ширини імпульсів вихідної напруги за сіносоїдальним законом (сіносоїдальна ШІМ) є найбільш ефективним варіантом ШІМ.

Керування на основі ШІМ дозволяє формувати основну гармоніку напруги необхідної частоти з можливістю регулювання її амплітуди та фази.

Термін часу находження ключа у провідному стані по відношенню до періоду широтно-імпульсної модуляції називають скважністю $\gamma = t_{\text{ввмк}} / T_{\text{ШИМ}}$.

Середнє значення напруги фази на періоді так же буде змінюватись, якщо скважність ключа у кожній фазі змінювати по сіносоїдальному закону (рис.16).

					ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

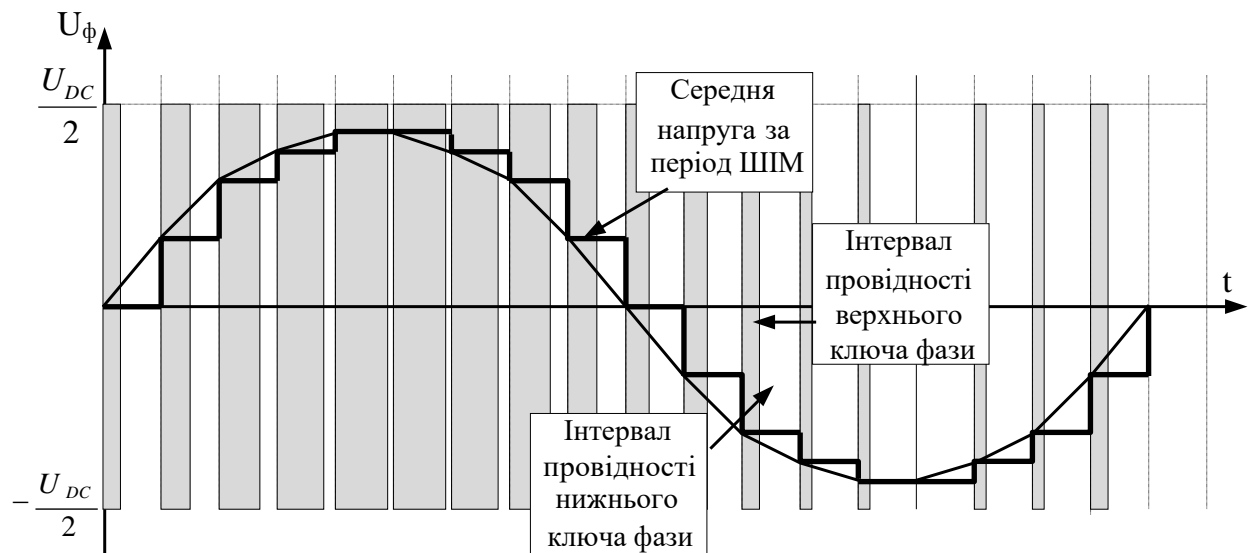


Рисунок 16 – Зміна напруги фази при зміні скважності

Досягнути ККД перетворювача частоти більше 95% можливо лише при використанні інвертора з широтно-імпульсною модуляцією напруги, що було б неможливо при використанні транзисторів у лінійному, а не в ключовому режимі.

В конструкцію схеми перетворювача частоти може включатися заводозахисні фільтри, які служать для ліквідації впливу зовнішніх електричних перешкод на роботу інвертора і двигуна, а саме:

- радіоперешкоди;
- наводяться працюючим обладнанням електричні заряди.

Про їх виникнення сигналізує контролер, а для зменшення впливу використовується екранована проводка між двигуном і вихідними клемми інвертора.

З метою поліпшення точності роботи асинхронних двигунів в схему керування частотних перетворювачів включають:

- зв'язок з розширеними можливостями інтерфейсу;
- вбудований контролер;
- карта пам'яті;
- програмне забезпечення;
- інформаційний Led-дисплей, що відображає основні вихідні параметри;

- гальмовий переривник;
- вбудований ЕМС фільтр;
- систему охолодження схеми, засновану на охолодженні вентиляторами підвищеного ресурсу;
- функцію прогріву двигуна за допомогою постійного струму і деякі інші можливості.

2.4 Експлуатаційні схеми підключення

Частотні перетворювачі створюються для роботи з однофазними або трифазними мережами. Але, якщо існують промислові джерела постійного струму з напругою 220 вольт, то від них теж можна жити інвертори.



Рисунок 17 – Варіанти підключення частотного перетворювача

Трифазні моделі розраховуються на напругу мережі 380 вольт і видають його на електродвигун. Однофазні ж інвертори заведені від 220 вольт і на виході видають три рознесених за часом фази.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Перетворювач частоти (ПЧ) – це технічний пристрій, що перетворює змінну напругу однієї частоти на вході, в змінюється за певним законом на змінну напруга, але вже з іншою частотою на виході за певним законом.

Перетворювачі частоти бувають двох типів:

- безпосередні;
- дволанкові

Кожен з існуючих класів перетворювачів має свої переваги і недоліки, які визначають сферу раціонального застосування кожного з них.

Безпосередній перетворювач частоти - це реверсивний тиристорний перетворювач. Головна його перевага в тому, що він підключається безпосередньо в мережу без додаткових пристроїв.

Головні переваги перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком (без ланки постійного струму):

- досить високий ККД. Досягається перетворенням електроенергії в перетворювачі одноразово;
- можливість обміну енергією між електричною мережею і двигуном. Завдяки такій можливості перетворювач працює як в руховому, так і в гальмівному режимі роботи, причому з рекуперацією енергії в мережу;
- можливість отримання вихідної напруги частотного перетворювача досить низьких частот. Це забезпечує рівномірну роботу двигуна на малих швидкостях;

Недоліки безпосереднього перетворювача частоти пов'язані з простотою його конструкції. В безпосередньому перетворювачу частоти є обмеження максимальної вихідної частоти, яка не може перевищувати 70% частоти мережі живлення. Іншою перешкодою для широкого застосування БПЧ - низький коефіцієнт потужності і несинусоїдальність вихідної напруги. Застосовується БПЧ в тихохідних синхронних і асинхронних електроприводах середньої і великої потужності в зв'язку з тим, що присутня висока складність ланцюгів управління.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дволанковий перетворювач частоти представляє собою транзисторний або тиристорний перетворювач. Але головна їхня відмінність від безпосередніх перетворювачів в тому, що для коректної та безпечної роботи інвертора необхідна ланка постійної напруги. Для підключення даних перетворювачів до загальнопромислових мереж необхідний випрямляч. В промисловості виготовлення йде комплектом, тобто інвертор і випрямляч поставляються разом і працюють від однієї системи управління.

Дволанковий або як його ще називають з ланкою постійного струму, створений на базі АІН (автономний інвертор напруги), містить в комплекті випрямляч і фільтр:

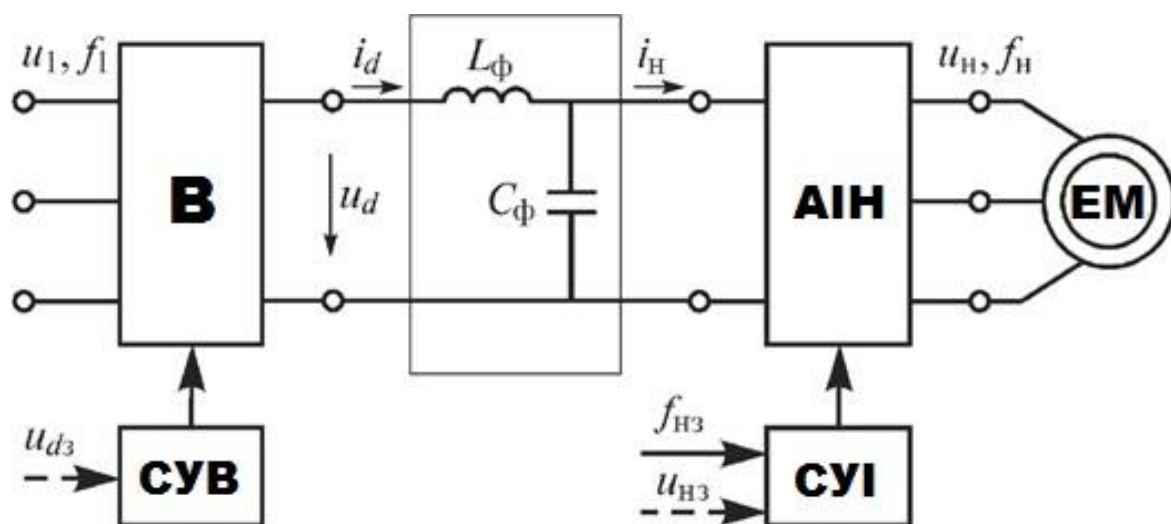


Рисунок 18 - Дволанковий перетворювач частоти

ЕМ - електрична машина, АІН - автономний інвертор напруги, L_{ϕ} , C_{ϕ} - індуктивності і ємності фільтра, $f_{нз}$ - завдання частоти виходу інвертора, $u_{дз}$ - завдання вихідної напруги для випрямляча, якщо використовуються керовані випрямлячі, СУВ, СУІ - системи управління випрямлячем і інвертором відповідно, $u_{нз}$ - завдання вихідної напруги інвертора, В – випрямляч. Пунктиром показані зв'язки, які включаються в систему в залежності від типу пристрою.

Для поліпшення якості енергії в ланці постійної напруги, згладжування пульсацій напруги і струму використовують L-C фільтр. Найчастіше він мають Г - подібну схему включення, як показано вище. Іноді використовують фазовий

зсув в ланцюзі змінної напруги шляхом включення обмоток трансформатора в трикутник і зірку.

У даній системі випрямляч може бути керованим або не керований. Якщо він керований, то функція регулювання напруги лягає на нього, якщо немає, то на АІН. Для рекуперації енергії в мережу випрямляч повинен бути повністю керований і реверсивен (двухкомплектний). Управління частотним перетворювачем проводиться імпульсним методом.

Найпоширеніші методи - це ШІР (широко-імпульсне регулювання) і ШІМ (широко-імпульсна модуляція).

Світловий потік напівпровідникових джерел світла при широкоімпульсному регулюванні прямо пропорційний коефіцієнту заповнення, або тривалості імпульсу. Виготовлення широко імпульсного регулятора на базі мікросхеми ТЛ494, та подальшого проведення дослідів, має наступні переваги: наявністю двох незалежних виходів. Наявність незадіяного виходу дозволяє синхронізувати схему вимірювання світлового потоку із схемою живлення напівпровідникового джерела світла

Перевагою ШІМ - швидке перемикавання, відповідно до типу навантаження проводиться з тим розрахунком, щоб період модульованого сигналу був істотно меншим ніж інерційність системи, до якої надається сигнал.

Головною відзнакою ШІМ - мала втрата енергії на електронному перемикачеві. Він здебільшого перебуває або у вимкненому стані, коли його опір максимальний, напруга максимальна або в режимі насичення — з мінімальним опором, тобто струм максимальний, а падіння напруги на ньому близьке до нуля. ШІМ також органічно вкладається в цифрові технології, велика кількість ШІМ-контролерів виробляється у вигляді мікросхем. Класичним прикладом є мікросхеми UC3842...UC3844.

Ще більш широке застосування отримали автономні інвертори струму (АІС).

АІТ - автономний інвертор струму, СУІ, СУВ - системи управління перетворювачами, КВ - керований випрямляч, Lф - індуктивність фільтра, fнз -

					ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завдання частоти вихідного струму, i_d - завдання вихідного струму в ланці постійного струму.

В АІТ регульованою величиною є струм, а в АІН, де регульованою вихідною величиною є напруга. Важливу роль у формуванні вихідного сигналу заданої частоти є частота комутації транзисторів або тиристорів. Краще якість синусоїдів на виході буде тоді, коли вище частота комутації, але зростають втрати в перетворювачі. Нижче наведено результат моделювання роботи АІТ (на IGBT транзисторах) на активно-індуктивне навантаження при різних частотах комутації:

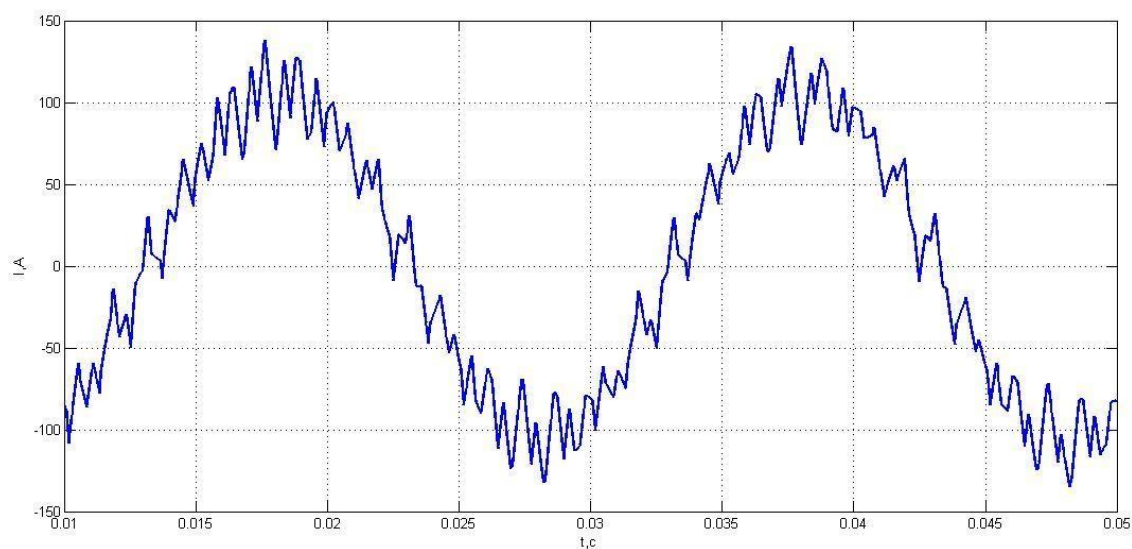


Рисунок 19 - Частота комутації 800 Гц

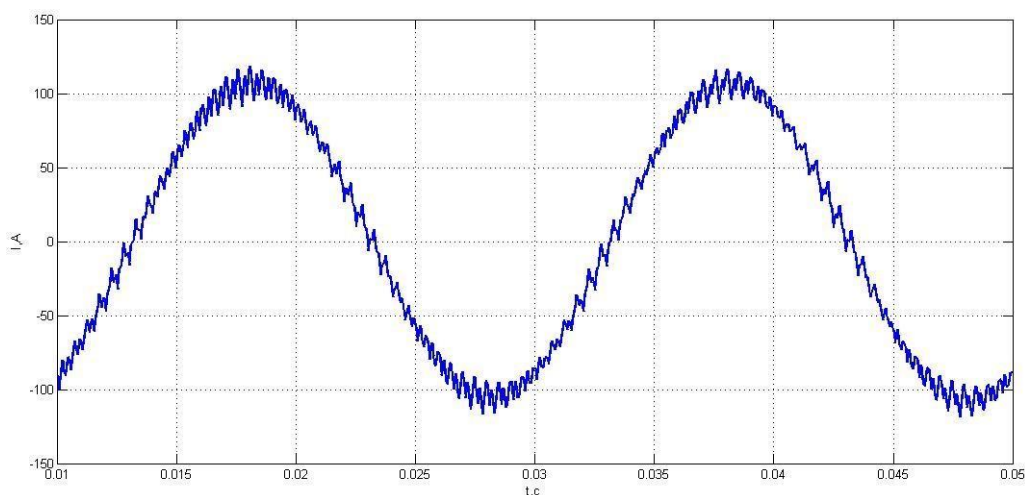


Рисунок 20 - Частота комутації 2000 Гц

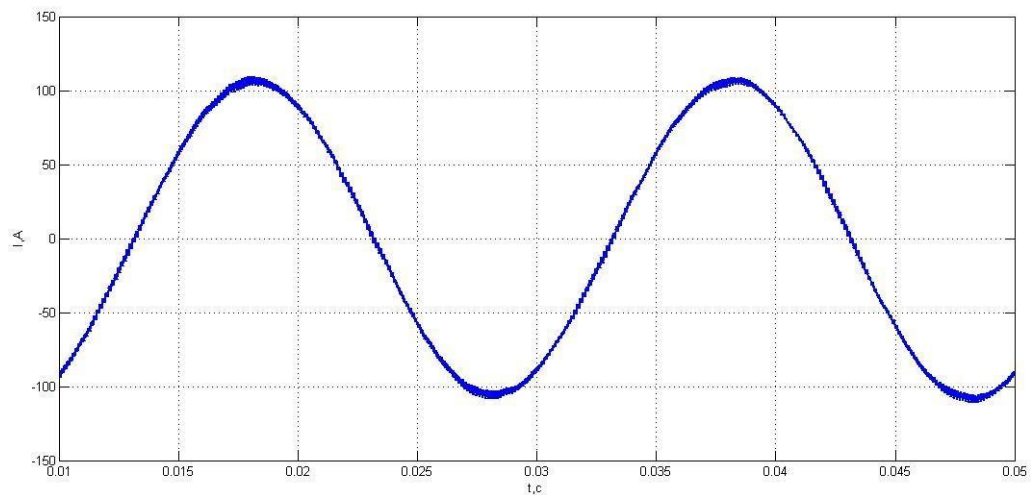


Рисунок 21 - Частота комутації 8000 Гц

Як видно з графіків зменшення частоти комутації дуже погано впливає на вихідну якість струму. Тому для кожного пристрою необхідно підбирати частоту комутації Частотники відповідно якості вихідної напруги або струму. Для оптимізації даних процесів на виході перетворювача частоти іноді ставлять L-C фільтр, для згладжування пульсацій струмів і напруг:

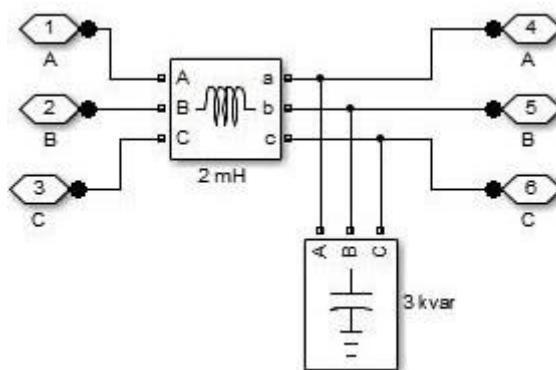


Рисунок 22 – Схема підключення фільтрів для згладжування пульсацій струмів і напруг

Як бачимо зі схеми - послідовно підключають індуктивність, для згладжування пульсацій струму, і паралельно ємність, для згладжування пульсацій напруги.[14]

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

3.1 Розробка алгоритму функціонування

В цифровому сигнальному процесорі закладений алгоритм системи керування двигуном. Ланцюг зворотного зв'язку між двигуном та блоком керування є тахогенератор, який розташований на валу двигуна.

За допомогою цього, додержується необхідна стабільна швидкість обертів двигуна на різних етапах роботи. Схема алгоритму наведена на рис.23.

На підставі сигналу з тахогенератора виявляється дисбаланс барабана на стадії віджимання. В інших машинах є примірне зважування речей, за допомогою порівняння характеру сигналів тахогенератора при заповненому речами і пустому при пустому барабані.

Відмінності сигналів тахогенератора запрограмовані у програмі процесора системи керування двигуном а також в мікросхемі пам'яті блоку керування.

Меню користувача формується на підставі мікропроцесора обробки сигналів , який виводить важливу інформацію на світлодіодні індикатори через перетворювач коду. Сигнали керування мікропроцесором керуючих сигналів генеруються мікропроцесором обробки сигналів.

Через драйвера надходять на затвори ключів інвертора IGBT транзисторів сигнали з мікропроцесора керуючих сигналів. Величина струму пропорціонального моменту навантаження контролюється за допомогою блока перевищення навантаження.

Регулювання частоти й амплітуди трьохфазної напруги, яка живить двигун відбувається в наслідок зміни частоти та скважності керуючих ключами імпульсів. Якщо відбувається перевищення номінальної величини струму IGBT транзисторів у модулі інвертора, блок «Аварія» виводить світловий сигнал.

					ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

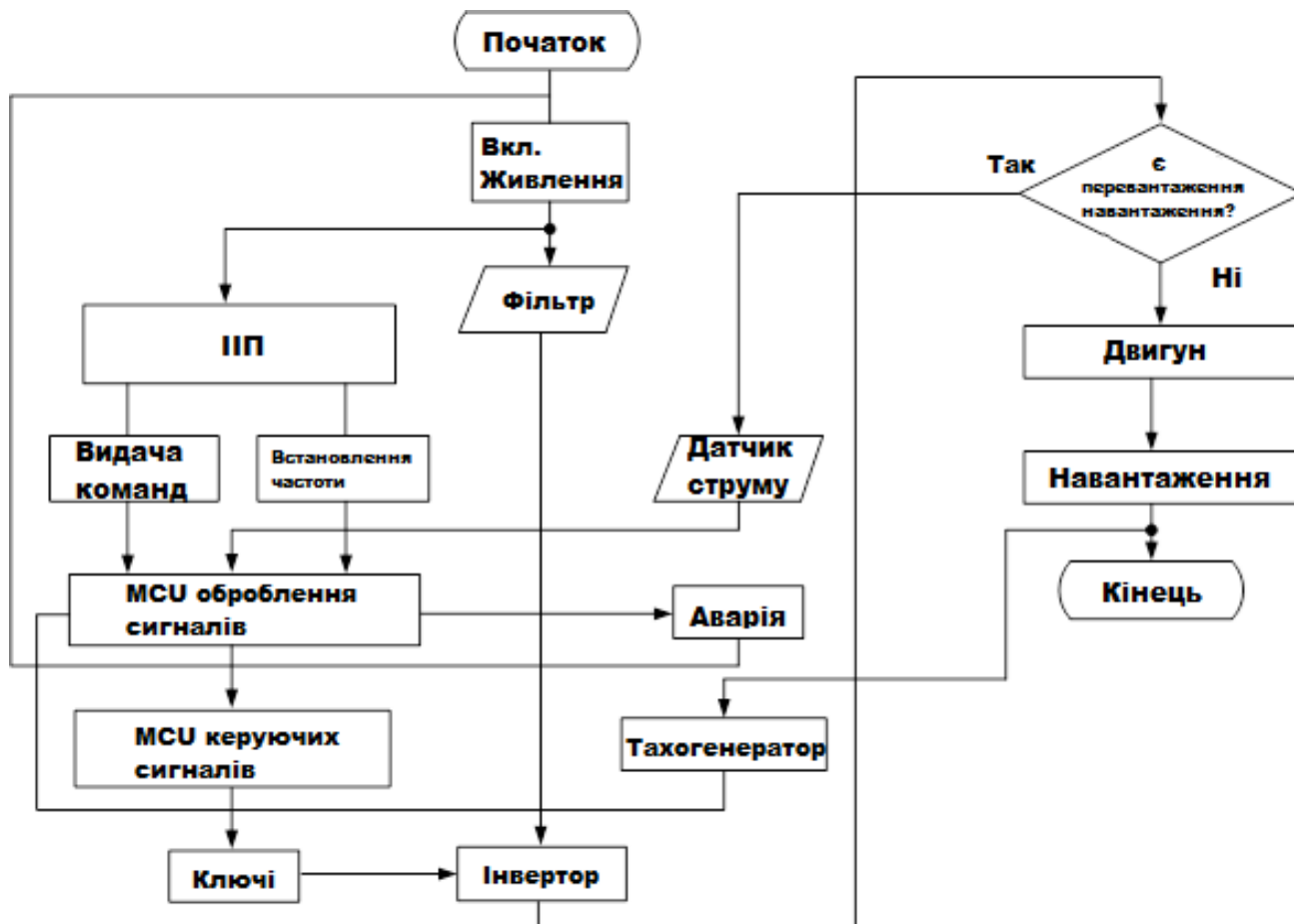


Рисунок 23 – Схема алгоритму

3.2 Розробка структурної схеми

Структурна схема перетворювача напруги з регульованою частотою для трьохфазного асинхронного електродвигуна наведена на рис.24.

Трьохфазний електродвигун, який живиться від інвертора. Він запускається за допомогою включення кнопки «Пуск» блока видачі команд . На проміжку часу, який встановив користувач, частота трьохфазної напруги поступово підвищується від нуля до вказаного значення. За допомогою змінного резистора у блоці установки частоти виставляється кінцеве значення частоти, до якого буде відбувається розгін.

Коли натискаємо на кнопку «Стоп» в цьому блоці, відбувається поступове зниження частот 3-х фазної напруги до нульової і з двигуна знімається напруга. Резистор регулювання частоти під час загальмованості не працює. Для налагодження і огляду параметрів схеми служать кнопки «ОК», «Вверх», «Вниз».

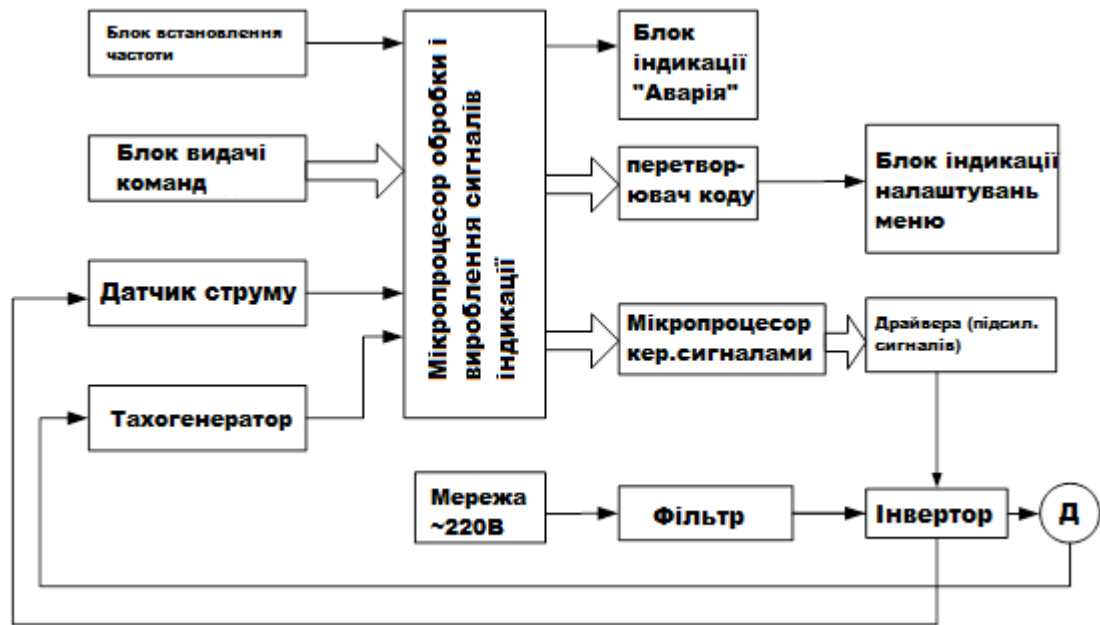


Рисунок 24 – Структурна схема перетворювача напруги і частоти

Для створення меню користувача і перетворення у цифрові коди та обробки аналогових сигналів установки частоти і контролю струму потрібен мікропроцесор обробки сигналів. За його допомогою виводиться необхідна інформація через перетворювач коду на світлодіодні індикатори. Мікропроцесором обробки сигналів генеруються сигнали керування мікропроцесором керуючих сигналів.

Керуючі сигнали з мікропроцесора сигналів керування через драйвери надходять на затвори ключів інвертора реалізованих на базі IGBT транзисторів. При зміні частоти та скважності, керуючих ключами імпульсів, які генеруються системою управління відбувається регулювання частоти і амплітуди трьохфазної напруги, яка надходить на двигун.

В електронних ключах інвертора спостерігаються втрати. Чим ближче частота ШІМ до максимальної робочої частоти ключів, втрати збільшуються. При малому падінні напруги в відкритому стані та з короткими перехідними процесами на транзисторах в електронних ключах відбуваються менші втрати.

IGBT транзистори для використання в інверторі володіють сприятливим співвідношенням параметрів, які поєднують у собі переважання

біполярних транзисторів і уніполярних (польових) транзисторів з ізольованим затвором.

IGBT транзистори працюють на частоті до 100 кГц, які мають мале падіння напруги у відкритому стані, а в закритому видержують напругу до 1500-1700В. Ними можна керувати за допомогою малопотужних сигналів, завдяки ізольованому затвору,

До однієї із фаз 3-х фазного двигуна під'єднаний датчик струму. На резисторі струм його вторинної обмотки створює падіння напруги, яка пропорційна струму однієї із фаз двигуна. Напруга надходить на вхід мікроконтролера обробки сигналів і тут його значення переходять у цифрову форму. Напругу зі змінного резистора для установки заданої частоти роботи двигуна також перетворюється мікроконтролером у таку ж форму.

Ланцюгом зворотного зв'язку між двигуном і блоком керування є тахогенератор, який знаходиться на валу двигуна і при цьому на різних етапах роботи підтримується необхідна стабільна швидкість обертів двигуна.

Через фільтр і випрямляч інвертор живиться від мережі змінного струму напругою $\sim 220\text{В}$, 50 Гц. Під час перехідних процесів фільтр на виході випрямляча забезпечує повернення реактивної енергії двигуна, а також сгладжує пульсації.

Технічні характеристики перетворювача:

- Напруга живлення, В.....220 В, 50Гц ;
- Максимальна трьохфазна напруга (лінійна) , В 220В;
- Частота трьохфазної напруги, Гц... 1 ... 60;
- Час розгону/загальмованість двигуна, с.....5...99;
- Напрямок обертів.....пряме/зворотнє;
- Потужність двигуна (два режима), кВт.....0,5...1,0;
- Максимальний струм фази, А 5А;
- Частота ШІМ, кГц 2,5.

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМ ПРОЕКТОВАНОГО ПРИСТРОЮ

4.1 Розробка функціональної схеми

Функціональна схема пристрою (рис.25) складається із таких основних блоків:

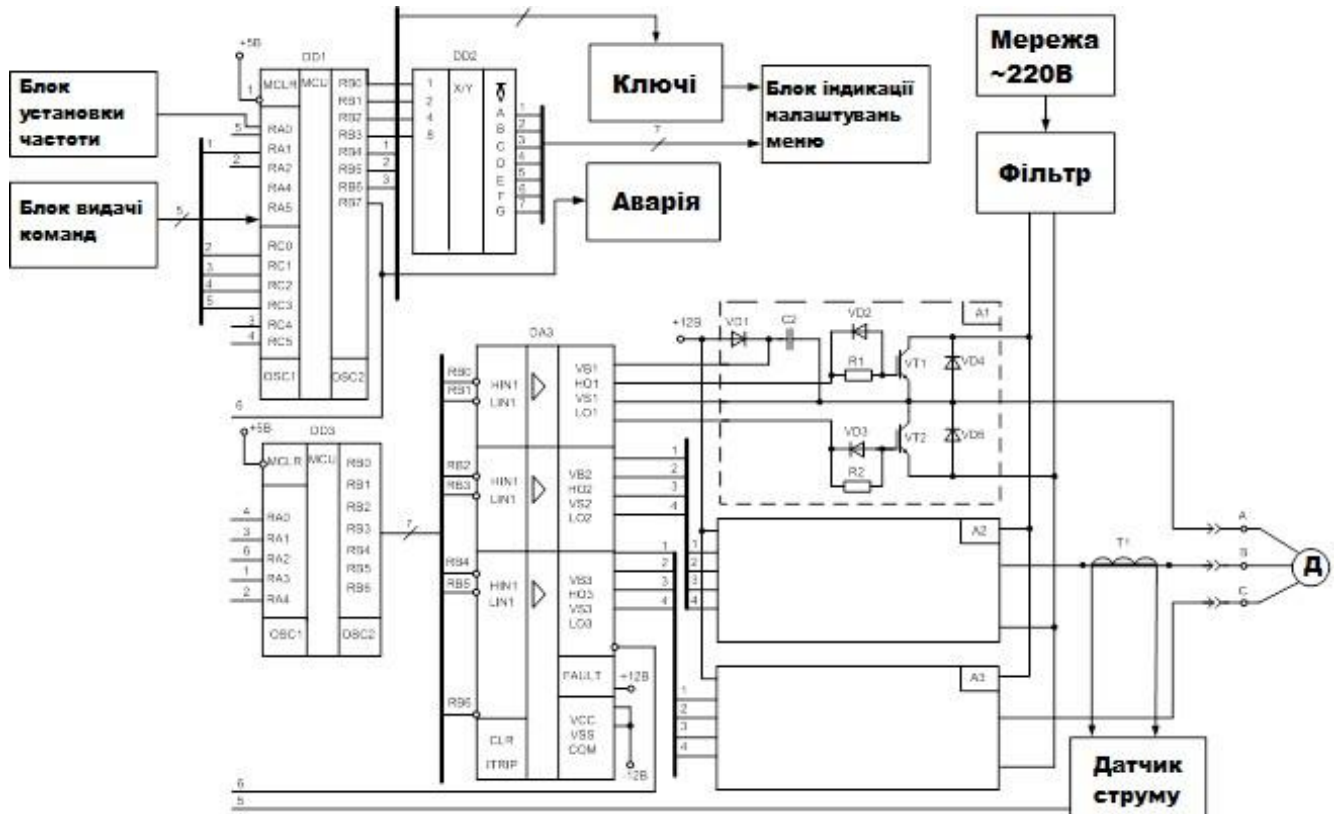


Рисунок 25 – Функціональна сема пристрою

- блок індикації режимів роботи.
- датчики контролю потужності навантаження;
- силовий модуль (автономного інвертора напруг (АІН));
- підсилювач керуючих сигналів;
- блок керуючих сигналів для силового модуля;
- блок обробки сигналів меню та сигналів індикації;

Для силового модуля на PIC контролерах DD1 та DD3 буде реалізований блок обробки сигналів меню, сигналів індикації та керуючих сигналів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ

Арк.

44

Дешифратор (перетворювач коду) DD2 буде виконувати роль підсилювача керуючих сигналів .

У силового модуля на виході є три фази напруги, частота та амплітуда якої, регулюється за допомогою IGBT транзисторів.

Трансформатор струму, ввімкнений в одну із фаз напруги буде використаний в якості датчика контролю потужності.

Індикація режимів роботи виконана на світлодіодних індикаторах типу АЛС.

4.2 Розробка та розрахунок принципової схеми пристрою

4.2.1 Вибір елементної бази

Припустимо, що пристрій будуть користуватися в сприятливих кліматичних умовах в приміщенні і в польових умовах, наприклад на спортивній біговій площадці. Більшість можливих видів і типів радіоелементів розробляються з урахуванням експлуатації при різних умовах зовнішнього середовища і тому вони можуть бути використані у якості елементної бази.

За останні роки більш розповсюженими є серії (74AS., SN74НС., SN74НСТ., SN74НСТL.), які виготовлені на основі КМОН-технології та мають 100% сумісність з ТТЛ мікросхемами. Це дає можливість виконувати у багатьох випадках пряму заміну ТТЛ на аналоги без зміни електричної схеми. Звісно, вони мають меншу швидкість, а ніж ТТЛ серії, але є і позитивні зміни – вони споживають набагато меншу потужність. Модуль інвертора має IGBT транзистори типу IRG4BC30F.

IGBT мають в собі перевагу біполярних транзисторів і уніполярних (польових) транзисторів з ізольованим затвором і тому вони використовуються в інверторі, так як згідно переліку параметрів є більш сприятливими. Мікроконтролер PIC16F873-20/P служить для обробки команд меню та виводу інформації на світлодіодні індикатори. Мікроконтролер PIC16F628-20/P буде використаний для вироблення керуючих сигналів.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Дешифратор КР514ИД1В будемо використовувати в якості перетворювача кодів для семисегментних індикаторів АЛС334А. Для керування IGBT транзисторами в якості ключів - драйвер шести польових транзисторів IR2131.

Для стабілізації напруги примінемо мікросхеми 7805, 78L05, а для індикації режимів роботи - семисегментні індикатори АЛС334А.

4.2.2 Розробка принципової схеми

IGBT транзистори примінемо для реалізації модуля інвертора (рис.26). В системах керування потужними електроприводами дозволяється використовувати IGBT тому, що при високому робочому струмі зберігається стійкість до його перевищення наприклад, при замиканні у навантаженні.

Технічні характеристики IGBT транзисторів IRG4BC30F:

- керуюча напруга 6,0В;
- корпус ТО220АВ;
- температурний діапазон від -55 до +50°С;
- напруга насичення при номінальному струмі 1,6В;
- максимальна потужність 100Вт;
- максимальна напруга 600В;
- максимальний струм при 25°С 31А;
- максимальна частота переключення 10кГц.

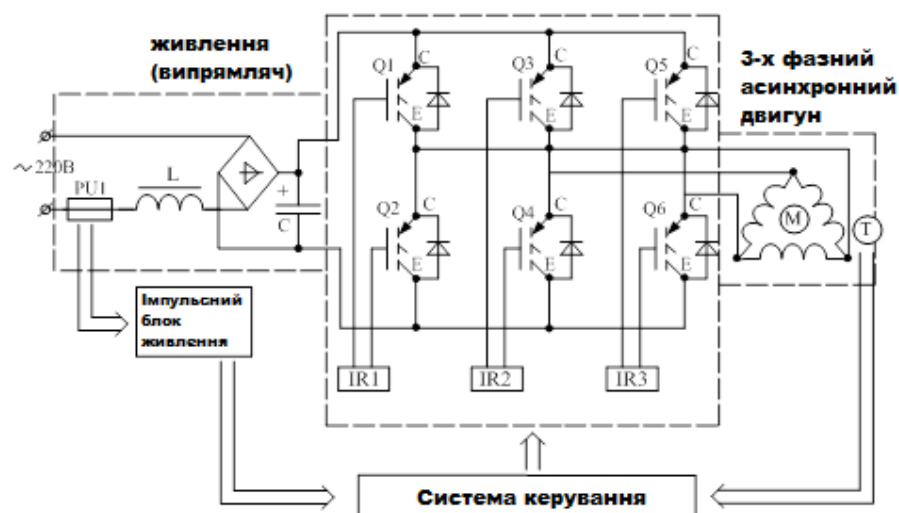


Рисунок 26 – Модуль інвертора

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Мікросхема DA1 (IR2131) (рис.27) складається із драйвера, який в свою чергу має шість польових транзисторів з ізолюючим затвором або IGBT. В ній є три канали. Кожний канал є вузол керування «нижнім» і «верхнім» транзисторами напівмоста.

Вузол керування верхнім транзистором відрізняється тим, що формує сигнал, який подається на затвор, сигнал на фоні плаваючого відносно мінуса джерела живлення потенціалу істока або емітера, величина якого може досягнути 600В.

Канали управляються логічними сигналами, які поступають з роз'єму XS1 на вхід HIN1-HIN3, LIN1-LIN3 відповідно для верхніх та нижніх ключів.

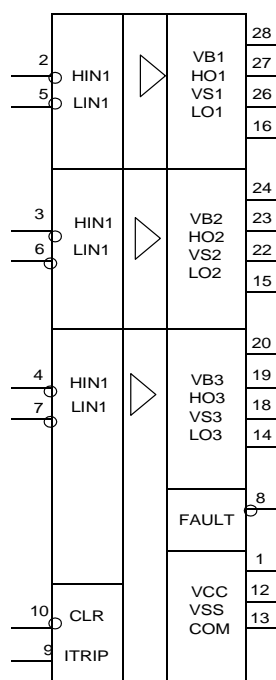


Рисунок 27 – Драйвер шести польових транзисторів

Технічні характеристики драйверів IR2131:

- корпус 28-DIP;
- тип монтажу Вивідний;
- робоча температура $-40^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$;
- напруга живлення 10В ...20В;
- висока побічна напруга 600В;
- число виходів 3;

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- число конфігурацій 1;
- пікове значення струму 250мА;
- час затримки 1,3ms;
- тип виходу Inverting;
- конфігурація 3 Phase Bridge.

Трансформатор струму Т₁ - кільце розміром 25мм*14мм*10мм із ферриту 2000НМ, яке знаходиться на одному із проводів, з'єднуючих інвертор з двигуном. Вторинна обмотка трансформатора – 300 витків провода із найменуванням ПЭВ-2 діаметром 0,2 мм, які намотані на кільце.

На двох мікроконтролерах (DD1 і DD3) побудований модуль керування. Програми для цих мікроконтролерів написані на мові С та откомпільовані у системі HI-TECH PICC 8.05.

Кожен з цих мікроконтролерів має апаратні широтно-імпульсні модулятори. Для формування необхідних інвертору шести керуючих сигналів кількість їх недостатня. В зв'язку з цим програмний мікроконтролер DD3 (PIC16F628-20/P) формує необхідні імпульси (рис.28). А також він підтримує необхідний порядок перемикання IGBT в інверторі, реагує на сигнал аварії, який формується за допомогою мікросхеми IR2131.

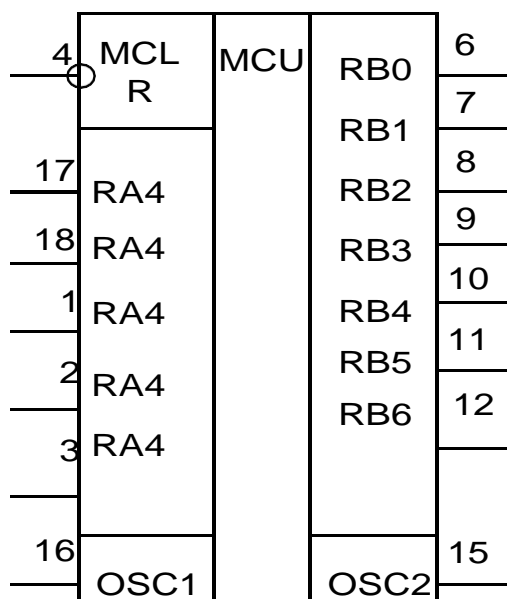


Рисунок 28 - Мікроконтролер PIC16F628-20/P

Технічні параметри мікроконтролера PIC16F628-20/P:

- розмір пам’яті RAM 224Байт;
- тип вбудованого інтерфейсу USART;
- швидкість ЦПУ 20МГц;
- кількість виводів 18;
- розмір пам’яті 3,5КБ;
- напруга живлення (мінімальна) 3В;
- напруга живлення (максимальна) 5,5В.

Мікроконтролер DD1 PIC16F873-20/P (рис.29) працює за програмою INV873.C, де формується меню користувача, яке перетворюється у цифрові коди і обробляються контроль струму, а також аналогові сигнали установки частоти.

Мікроконтролер DD1 виконує й іншу роботу, а саме:

- генерує сигнали управління мікроконтролером DD3;
- виводить необхідну інформацію на світлодіодні індикатори HG1-HG3 (через перетворювач коду DD2).

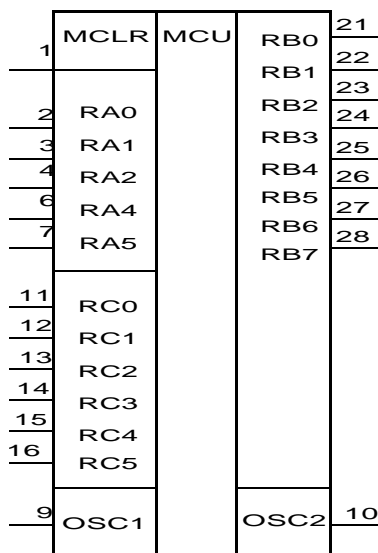


Рисунок 29 - Мікроконтролер PIC16F873-20/P

Технічні параметри мікроконтролера PIC16F873-20/P:

- тип мікросхеми мікроконтролер PIC;
- пам’ять програми 7кБ;

- об'єм пам'яті SRAM 192Б;
- максимальна частота 20мГц;
- кількість входів/виходів 22;
- корпус DIP28;
- робоча напруга 2,5В;
- кількість таймерів 8 біт 2;
- кількість таймерів 16 біт 1;
- вид архітектури Harvard 8бит;
- об'єм пам'яті EEPROM 128 Б.

Семисегментний індикатор - це комбінований електронний пристрій (рис. 30). Зовнішній вигляд практично не відрізняється від зображення його на схемах.

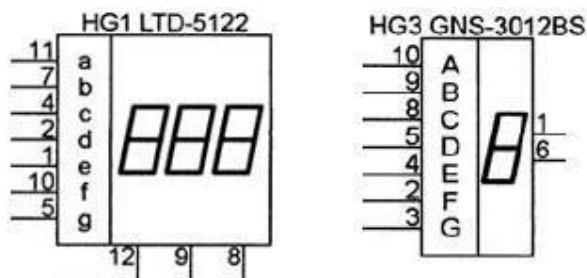


Рисунок 30 – Семисегментний індикатор АЛС334А

Сегмент - елемент відображення інформації знаковинтезувального індикатора, контур якого являє собою прями та (або) криві лінії. Семисегментний індикатор — сім сегментів для індикації цифри і один — для крапки. Більше уваги треба приділити на те, що кожному виводу відповідає конкретний сегмент індикатора, до якого він ввімкнутий. Існує один або декілька виводів загального катоду. На підставі викладеного, аноди у світлодіодів кожної цифри об'єднані і виведені на окремий вивід.

Католи у світлодіодів, які належать до знаковосегменту (наприклад **G**), з'єднані разом. Залежить дуже багато від того, яку схему з'єднань має індикатор (із загальним катодом або анодом), залежить дуже багато. Чому це так важливо, достатньо подивитися на принципові схеми пристроїв з використанням семисегментних індикаторів.

4.2.3 Управління семисегментними індикаторами

Дешифратори і реєстри зсуву застосовують для керування семисегментними індикаторами у цифрових пристроях. Наприклад, розповсюжений дешифратор для керування індикаторами серії АЛС333 і АЛС324 – мікросхема К514ИД2 або К176ИД2.

Регістр зсуву 74НС595 застосовується переважно для керування сучасними імпорнтними індикаторами. Також елементами індикатора можна керувати напряму з виходів мікроконтролерів. На практиці таку схему застосовують досить рідко тому, що для цього потрібно задіяти досить велику кількість виводів мікроконтролера. Це є економічно недоцільно, а також ускладнює процес виготовлення пристрою, тому застосовуються реєстри зсуву. Також струм споживання світлодіодами індикатора може бути більше, ніж може дати вихід мікроконтролера. Світлодіодні індикатори серій АЛС321, АЛС324, АЛС333 і багато інших мають хороші світлотехнічні характеристики, але у номінальному режимі потребують достатньо великий струм – для кожного елемента приблизно 20 мА. При динамічній індикації амплітудне значення струму у декілька разів більше.

Основні технічні параметри індикатора АЛС334А:

- колір випромінювання жовтий;
- висота знаків 12мм;
- сила світла одного сегменту 0,2 мкд;
- постійна пряма напруга не більше 3,3 В при 20мА;
- максимальний постійний прямий струм 25мА;
- максимальна зворотна постійна напруга 5В;
- допустимий розкид сили світла між сегментами не більше 300% .

Промисловість випускає дешифратори К514ИД1, К514ИД2, КР514ИД1, КР514ИД2 в якості перетворювачів двійкового-десятичного коду у семисегментний.

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Максимально вірогідний струм вихідних ключових транзисторів дешифраторів К514ИД1 і КР514ИД1 (рис.31) не перевищує 4...7 мА, а К514ИД2 і КР514ИД2 призначені тільки для роботи з індикаторами, які мають загальний анод, тому для сумісної праці з наведеними індикаторами з загальним катодом, вони непридатні, які наведені вище.

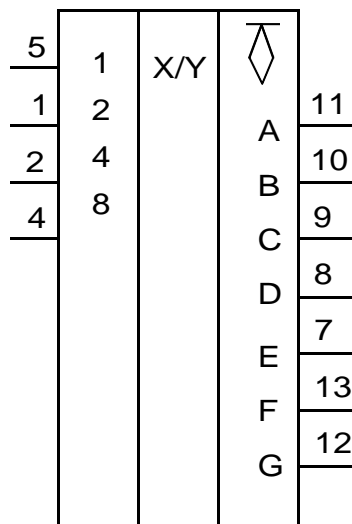


Рисунок 31 – Дешифратор (перетворювач коду) К514ИД1

Технічні характеристики К514ИД1:

- вхідна напруга «0» 0,4В;
- вхідна напруга «1» 2,4В;
- вхідний струм «0» 1,6мА;
- вхідний струм «1» 0,07мА;
- вихідний струм «0» (при 0,8В) 0,3мА;
- вихідний струм «1» (при 1,7В) 2,5...4,6м.
- напруга живлення 5В;
- струм споживання 50мА.

На даний час КР1157ЕН5 є вітчизняними аналогом стабілізатору напруги 78L05 , а 142ЕН5 є аналогом стабілізатору напруги 7805. Дана мікросхема має два типи:

- потужний 7805 (струм навантаження максимально до 1,0А);
- малопотужний 78L05 (струм навантаження максимально до 0,1А).

Тепловий захист є у Мікросхеми – стабілізатору 78L05 (7805) , а також вона має вбудовану систему, яка захищає стабілізатор від перевантаження за струмом. Але, для більш надійної роботи пристрою потрібно використати діод, який захищає стабілізатор від короткого замикання у вхідному ланцюзі.

Технічні параметри стабілізатора 7805:

- вхідна напруга від 7 до 20В;
- вихідна напруга від 4,5 до 5,5В;
- вихідний струм (максимальний) 100мА;
- робоча температура от -40 до +125⁰С;
- допустима різниця напруги вхід-вихід 1,7В;
- струм споживання стабілізатором 5,5мА.

Для надійної роботи стабілізатора 7805 напруга на вході повинна бути не менше 7В і також не більше 20В.

4.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми

4.3.1 Розрахунок датчика струму

Датчик струму ввімкнений у загальний від’ємний ланцюг інвертора (рис.32). У випадку підвищення номінального струму IGBT транзисторів датчик струму призначений для блокування силових тиристорів інвертора та видає сигнал «Аварія».

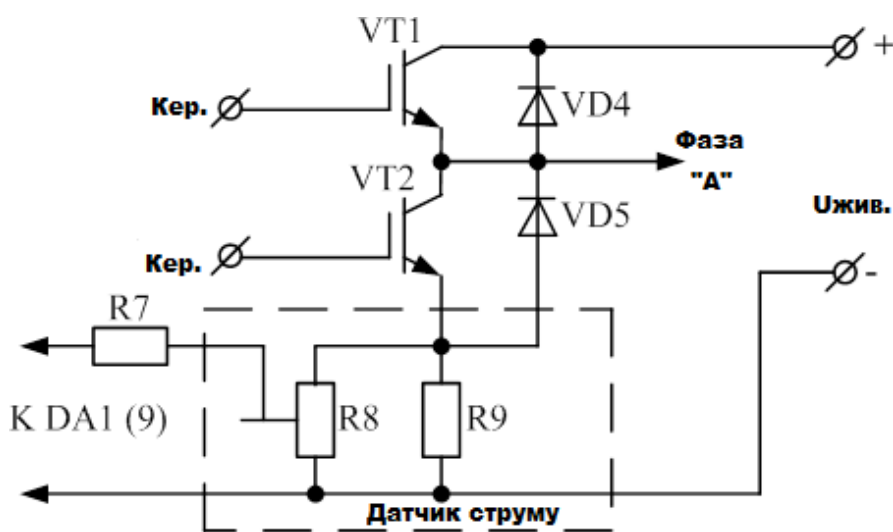


Рисунок 32 – Датчик струму

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Якщо підвищується струм транзисторів, а за ним підвищується поріг напруги із датчика струму біля 0,5В по входу ITRIP DA1, йде сигнал з виходу мікросхеми по ланцюгу керування і всі транзистори закриваються.

На індикатор «Аварія» подається сигнал низького рівня, який формується з виходу FAULT DA1. При проведенні розрахунку елементів датчика струму застосуємо наступні параметри навантаження фази інвертора:

- потужність двигуна – 0,5... 1,0 кВт;
- максимальна трифазна напруга (лінійна) – 220 В;
- максимальний струм фази – 5,0 А.

Щоб отримати необхідний поріг напруги використаємо два паралельно ввімкнених резистора R8, R9. Для максимального струму транзисторів задається падінням напруги на даних резисторах $U_{R8,9} = 1.2 \text{ В}$.

Струм у ланцюзі транзисторів однієї фази буде дорівнювати:

$$I_{VT} = I_{fmax} / 2 = 5 / 2 = 2,5 \text{ А},$$

де I_{fmax} – максимальний струм фази двигуна.

Опір $R_{8,9}$ у цьому випадку, буде дорівнювати:

$$R_{8,9} = U_{R8,9} / I_{VT} = 1,2 / 2,5 = 0,5 \text{ Ом}.$$

Значення $R_8 = 300 \text{ Ом}$, $R_9 = 0,5 \text{ Ом}$, тоді

$$R_{8,9} = (R_8 * R_9) / (R_8 + R_9) = (300*0,5) / (300 + 0,5) = 0,498 \text{ Ом}.$$

Для плавного регулювання порогу напруги, R_8 вибираємо з плавним регулюванням. Для обмеження струму з датчика струму вмикаємо резистор $R_7 = 1,2 \text{ кОм}$, тоді $I = U_{пор} / R_7 = 0,5 / 1,2 * 10^3 = 0,42 \text{ мА}$. Для зниження високих гармонічних струму на виході датчика струму ввімкнена ємність $C_5 = 1,0 \text{ мкФ}$.

Потужність резисторів R_9 і R_8 .

$$P_{R9} = I_{R9}^2 * R_9 = 2,5^2 * 0,5 = 3,12 \text{ Вт}, \quad \text{де } I_{R9} = I_{VT} = 2,5 \text{ А}.$$

$$I_{R8} = U_{R8,9} / R_8 = 1,2 / 300 = 0,004 \text{ А} = 4 \text{ мА}.$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$P_{R8} = I_{R8}^2 * R_8 = 0,004^2 * 300 = 0.0048 \text{ Вт} = 4,8 \text{ мВт.}$$

Резистори R_8, R_9 вибираємо із стандартного ряду

R_9 – МЛТ- 0,5Ом - 5,0; R_8 – С2-16А-300 Ом; R_7 – МЛТ- 1,2 кОм – 0,5.

4.3.2 Розрахунок компенсаційного стабілізатора напруги

Для вибору інтегральної схеми стабілізатора зробимо вибір схеми компенсаційного стабілізатора напруги та проведемо його частковий розрахунок.

Нестабільність вхідної напруги - $\pm 10\%$.

Дано: $U_H = 5\text{В}$, $I_{H \text{ max}} = 1 \text{ А}$, $\Delta U_H = 50 \text{ мВ}$, $K_{n(1)} = 0,1\%$, $\Delta U_{\text{ex}} / U_{\text{ex}} = 0.1$.

Визначимо допустимі параметри вхідної напруги стабілізатора, необхідні для розрахунку випрямляча і сгладжувального фільтру, який живить стабілізатор приведений на (рис.33).

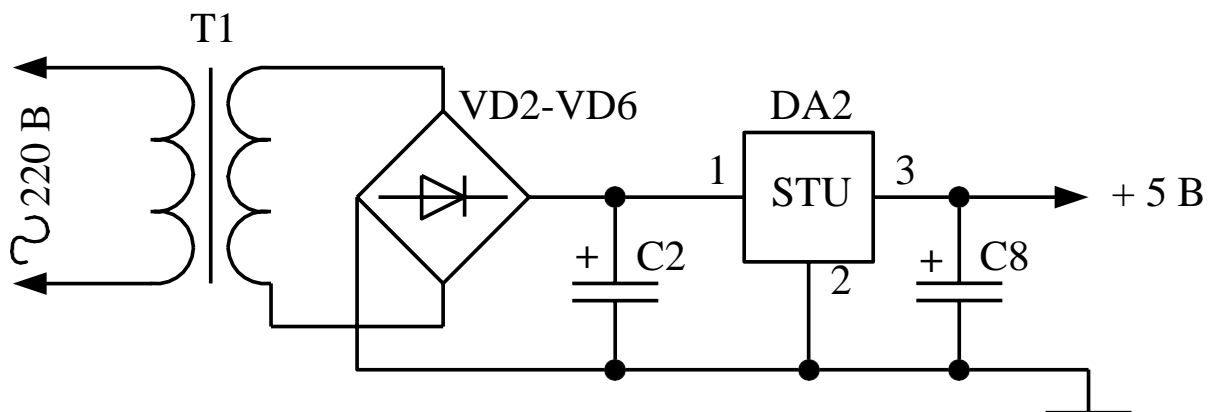


Рисунок 33 – Компенсаційний стабілізатор напруги

Вибір інтегральної схеми стабілізатора виконується, виходячи з допустимих значень напруги на виході стабілізатора, а також по коефіцієнту стабілізації і струму $I_{H \text{ max}}$.

Коефіцієнт стабілізації:

$$K_{\text{ст}} = \frac{\square 0,1}{\frac{\Delta U_H}{U_H}} = \frac{0,1}{\frac{0,05}{5}} = 10.$$

Коефіцієнт пульсації по першій гармоніці:

$$K_n(1)_{\text{ВХ}} = K_n(1) \cdot K_{\text{СТ}} = 0,1 \times 10 = 1\%.$$

Вхідна мінімальна напруга:

$$U_{\text{ВХ min}} = U_{\text{Н}} + \Delta U_{\text{СТ}}.$$

Виходячи із формули для визначення коефіцієнта пульсації

$$K_n(1)_{\text{ВХ}} = \frac{U_{(1)\text{m}}}{U_{\text{Н}}}, \text{ визначаємо } U_{(1)\text{m}} \text{ и } \Delta U_{\text{СТ}}:$$

$$U_{(1)\text{m}} = K_n(1)_{\text{ВХ}} \cdot U_{\text{Н}} = 0,01 \times 5 = 0,05(\text{В}).$$

$$\Delta U_{\text{СТ}} = U_{\text{РЭ}} + U_{(1)\text{m}} = 3 + 0,05 = 3,05(\text{В}).$$

Далі визначимо $U_{\text{ВХ min}} = 5 + 3,05 = 8,05(\text{В}),$

$$U_{\text{ВХНОМ}} = \frac{U_{\text{ВХ min}}}{1 - 0,1} = \frac{8,05}{0,9} = 8,94(\text{В}),$$

$$U_{\text{ВХ max}} = U_{\text{ВХНОМ}} (1 + 0,1) = 8,94 \times 1,1 = 9,84(\text{В}),$$

$$\Delta P_{\text{СТ}} = (U_{\text{вх max}} - U_{\text{Н}}) \cdot (I_{\text{Н max}} + I_{\text{СТ}}) = (9,84 - 5) \times (1 + 0,015) = 6,123(\text{Вт}).$$

На підставі проведених розрахунків зупиняємо свій вибір на стабілізаторі в інтегральному виконанні: К142ЕН14, з параметрами:

$$U_{\text{ВХ}} = 20\text{В}, \Delta U_{\text{С}} = 3\text{В}, \sigma_U = 0,1\%.$$

$$K_{\text{СТфакт}} = \frac{1}{\sigma_U \cdot U_{\text{ВХНОМ}}},$$

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$K_{\text{стфакт}} = \frac{1}{0,001 \times 8,94} = 111.$$

Так як $K_{\text{стфакт}} > K_{\text{ст}}$, то стабілізатор вибраний правильно. Для даного коефіцієнта стабілізації ($K_{\text{ст}} = 10$) застосовуємо допустимі параметри вхідної напруги стабілізатора, які необхідні для розрахунку випрямляча та сгладжувального фільтра, який живить стабілізатор:

– відносна нестабільність напруги на вході:

$$\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}} = K_{\text{СТ}} \cdot \Delta U_{\text{ввх}} / U_{\text{ввх}} = 10 \cdot 0.05 / 5 = 10\% ;$$

– коефіцієнт пульсацій вхідної напруги:

$$K_{\text{П(1)вх}} = K_{\text{П(1)}} \cdot K_{\text{СТ}} = 0.1\% \cdot 10 = 1\% .$$

					<i>ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок собівартості виготовлення системи

Собівартість системи – це вираження у грошовій формі поточних витрат підприємства на його виробництво і збут. Витрати на виробництво системи формують виробничу собівартість, а витрати на виробництво і збут – повну собівартість. Розрахунок собівартості системи (установки) за статтями витрат називається калькуляцією.[12]

Витрати, пов'язані з виробництвом і збутом реалізацією системи (установки) групуються за такими статтями:

- матеріали та комплектуючі;
- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на соціальні заходи;
- витрати на утримання і експлуатацію устаткування;
- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- витрати на збут.

Витрати на матеріали та комплектуючі вироби визначаються виходячи з ціни за одиницю матеріалу/комплектуючого та їх необхідної кількості (табл.2). Дані про ціни на матеріали та комплектуючі варто брати з відомостей (прайс-листів, каталогів, web-сайтів) виробників і постачальників матеріалів, сировини, комплектуючих, послуг в розрахунку на 1 одиницю випуску.[13]

Таблиця 2 – Розрахунок витрат на комплектуючі

№ з/п	Найменування комплектуючих	Кіл.	Ціна за од., грн.	Вартість, грн.
	Мікросхеми			
DA3	IP2131	1	125	125
DD1	PIC16F873-20/P	1	290	290
DD2	KP514ІД	1	5	5
DD3	PIC16F628-20/P	1	120	120
DA1	STU 7812	1	15	15

					ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Продовження таблиці 2 - Розрахунок витрат на комплектуючі

DA2	STU 7805	1	12	12
	Індикатори			
HG1-G3	АЛС334А	3	30	90
	Конденсатори			
C1	К10-17-0.1мкФ ±10%	1	4	4
C2	К50-35-470мкФ ±20%	1	2,7	2,7
C3, C4	К50-35-10мкФ ±20%	2	2,4	4,8
C5, C8	К50-35-470мкФ ±20%	2	2,7	5,4
C6, C7	К10-17-0.1мкФ ±10%	2	4	8
C9	К10-17-0.1мкФ ±10%	1	4	4
C10-C12	К50-35-10мкФ ±20%	3	2,4	7,2
C13, 14	К50-35-1,0 мкФ ±20%	2	1,7	3,4
C15, 17	К50-35-200мкФ ±20%	2	2	4
C18	К50-35-470мкФ ±20%	1	2,7	2,7
	Резистори			
R1	СП5-2 – 10 кОм ± 5%	1	25	25
R2	С2-23-0.125-2.2 кОм ±10%	1	1	1
R3	С2-23-0.125-5,1 кОм ±10%	1	1,1	1,1
R4	С2-23-0.125-100 кОм ±10%	1	0,3	0,3
R5-R9	С2-23-0.125-5,1 кОм ±10%	5	1,1	5,5
R10	С2-23-0,125-100 к Ом±10%	1	0,3	0,3
R11	С2-23-2-5,1 кОм ±10%	1	1	1
R12	С2-23-0.125-2.2 кОм ±10%	1	1	1
R13-R15	С2-23-0,125-10 кОм ±10%	3	0,7	2,1
R16, R17	С2-23-0,125-2,2 Ом ±10%	2	1	2
R18-R19	С2-23-0.125-5,1 кОм ±10%	2	1,1	2,2
R20- R25	С2-23-0,125-5,1 кОм ±10%	6	1,1	6,6
R26	С2-23-0.125-1.2 кОм ±10%	1	0,5	0,5
R27	СП5-2 – 330 Ом ± 5%	1	27	27
R28	МЛТ 0,5 Ом – 10 ±10%	1	0,9	0,9
R29	МЛТ 3,0 Ом - 10 ±10%	1	0,35	0,35
R30,R31	С2-23-0,125-150 кОм±10%	2	0,8	1,6
	Діоди			
VD1	КЦ407А	1	23,7	23,7
VD2	КЦ407А	1	23,7	23,7
VD3-11	1N4007	9	0,8	7,2
VD12-17	FR607	6	2,9	17,4

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ

Арк.

59

Продовження таблиці 2 - Розрахунок витрат на комплектуючі

VD18-21	ДП112		4	29	116
Транзистори					
VT1	KT815Г		1	6	6
VT2-T4	KT503Г		3	2	6
VT5-T10	IRG48C30F		6	9	54
Сумарні витрати					1029,85

Таблиця 3 – Приклад розрахунку витрат на сировину та матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця виміру	Норма витрати	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн.
Склотекстоліт	м ²	0,05	115	5,75
Каніфоль	кг	0,04	80	3,2
Флюс	кг	0,02	1680	33,6
Припій	Кг	0,06	820	49,2
Лак	Кг	0,02	1470	29,4
Сумарні витрати				121,15

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат ($k_{m-з}=5\div 15\%$) вартість комплектуючих та матеріалів складе:

$$KM = (1029,85 + 125,15) (100+10)/100 = 1155 \text{ грн.}$$

Витрати на основну заробітну плату (Z_0):

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Tg_i \cdot Nч_i \cdot n$$

де Tg_i – годинна тарифна ставка окремого спеціаліста (інженера електронщика, лаборанта тощо), що задіяний у виробництві пристрою (установки), грн/год;

$Nч_i$ – витрачений час робітником на виробництво і наладку пристрою (установки);

n – кількість працівників, які задіяні у виробництві пристрою (установки).

Годинна тарифна ставка розраховується, виходячи з величини місячного окладу спеціаліста:

					ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Tz_i = \frac{T_{M_i}}{V\phi_i \cdot 8} = \frac{6500}{23 \cdot 8} = 35,33 \text{ грн.}$$

T_{M_i} – місячний оклад (ставка) спеціаліста, грн;

$V\phi_i$ – фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів.

$$Zo = \sum_{i=1}^n Tz_i \cdot H\phi_i \cdot n = 35,33 \cdot 40 \cdot 4 = 5652,8 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата (10÷30% від Zo):

$$Zd = Zo \cdot \frac{Kd}{100} = 5652,8 \cdot \frac{25}{100} = 1413,2 \text{ грн.}$$

де Kd – відсоток додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи містять відрахування від суми основної і додаткової зарплати за встановленими ставками:

- на державне страхування від нещасних випадків;
- на обов'язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття;
- у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності і витратами, зумовленими народженням дитини і похованням

$$Vcz = (Zo + Zd) \cdot \frac{36,3}{100} = (5652,8 + 1413,2) \cdot \frac{36,3}{100} = 2564,96 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування складають 120-150% від основної заробітної плати:

$$V_{UEY} = Zo \cdot 1,3 = 5652,8 \cdot 1,3 = 7348,64 \text{ грн.}$$

Загально виробничі витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 130-250 % від основної заробітної плати.

$$V_{ЗВ} = 5652,8 \cdot 1,5 = 8479,2 \text{ грн.}$$

Виробнича собівартість визначається як сума статей витрат:

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_B = KM + 3_0 + 3_D + B_{C3} + B_{УЕУ} + B_{ЗВ}$$

$$C_B = 1155 + 5652,8 + 1413,2 + 2564,96 + 7348,64 + 8479,2 = 26613,8 \text{ грн.}$$

Адміністративні витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 140-200% від основної заробітної плати.

$$B_A = 3_0 * 1,5 = 5652,8 * 1,5 = 8479,2 \text{ грн.}$$

Зовнішні виробничі витрати, які мають зв'язок зі збутом виробів, складають 5-10% від виробничої собівартості:

$$B_{ЗВ} = C_B * 0,1 = 26613,8 * 0,1 = 2661,38 \text{ грн.}$$

Повна собівартість:

$$ПС = C_B + B_A + B_{ЗВ} = 26613,8 + 8479,2 + 2661,38 = 37754,38 \text{ грн.}$$

Таблиця 4 – Калькуляція собівартості пристрою

Стаття калькуляції	Витрати, грн
Матеріали та комплектуючі	1155,00
Витрати на основну заробітну плату	5652,80
Додаткова заробітна плата	1413,20
Відрахування на соціальні заходи	2564,96
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	7348,64
Загальновиробничі витрати	8479,20
Виробнича собівартість	26613,80
Адміністративні витрати	8479,20
Витрати на збут	2661,38
Повна собівартість пристрою	37754,38

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції, який встановлює підприємство.

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\%,$$

де R – рентабельність пристрою в розмірі 30% від його собівартості.

Відповідно оптова ціна пристрою визначається

$$Ц_{opt} = C + \frac{R \cdot C}{100},$$

$$Ц_{opt} = 37754,38 + \frac{37754,38 \cdot 0,3}{100} = 37867,64 \text{ грн.}$$

Визначення відпускної ціни пристрою. Відпускна ціна включає податок на додану вартість:

$$Ц_{розд} = Ц_{opt} \cdot 1,2,$$

де 20% - ПДВ.

$$Ц_{розд} = 37867,64 \cdot 1,2 = 45441,17 \text{ грн.}$$

					ЕліТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ВИСНОВКИ

У даній випускній кваліфікаційній роботі розроблений, перетворювач частоти для трифазного асинхронного електродвигуна.

Силовий модуль побудований на мікросхемі IR2131, який спеціально призначений для використання в трифазних інверторах, а також і в потужних біополярних транзисторах з іzolованим затвором IGBT.

Задачі, які виконувались модулем керування перетворювача, розділені між двома мікроконтролерами серії PIC16. В даному перетворювачі приміненний алгоритм формування трифазної напруги за базовими векторами з регулюванням вихідної напруги на підставі широтно-імпульсної модуляції. ШІМ генерує послідовність імпульсів со скважністю прапорційно рівню сигналу на його вході. ШІМ широко використовується в розробці систем керування світлодіодами, а також дозволяє наблизити до сінусоїдального закону середнє значення напруги, яку виробляє інвертор протягом певного періоду.

					ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ЛІТЕРАТУРА

1. Частотне керування асинхронним приводом, методичні вказівки Ніжин 98с. 2011р.
2. Новіков Г.В. Частотне керування асинхронними двигунами 500с. 2016р.
3. <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/sinkhronnye-elektrodvigateli/>
4. Danfoss перетворювач частоти, просто про складне 162с. 2015р.
5. WEG асинхронні електродвигуни керовані від перетворювача частоти 39с 2012р.
6. «Регулювання частоти обертання асинхронних двигунів» перевидання Л.Б. Масанділов, В.В. Москаленко 95с. 2008р.
7. Марголін Ш.М. «Точна зупинка електроприводів» 104с. 2007р.
8. Алієв І.І. «Асинхронні двигуни в трифазному й однофазному режимах» 128с. 2006р.
9. Сандлер А.С. і Сарбатов Р.С. «Автоматичне частотне управління асинхронними двигунами» 328с. 2002р.
10. Зімін Е.Н. «Захист асинхронних електродвигунів напругою до 500В» 56с. 2000р.
11. «Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода» Харків 205с. 2017р
12. Мельник Л.Г., Каринцева А.И. . Економіка підприємства. 400с. 2002р.
13. Экономика предприятия. Конспект лекцій: навчальний посібник. - Сумы: ИТД 2002р. 400с.
14. <http://electricalschool.info/elprivod/1658-chastotnyjj-preobrazovatel-vidy-princip.html>
15. <https://samelectrik.ru/chastotnyj-preobrazovatel.html>

					ЕлІТ 8.171.00.10.286 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Поз. обозн.	Найменування	Кіл.	Примечание
	Мікросхеми		
DA3	IP2131	1	
DD1	PIC16F873-20/P	1	
DD2	KP514ИД1	1	
DD3	PIC16F628-20/P	1	
DA1	STU 7812	1	
DA2	STU 7805	1	
	Індикатори		
HG1- HG3	АЛС334А	3	
	Конденсатори		
C1	K10-17-0.1мкФ ±10%	1	
C2	K50-35-470мкФ ±20%	1	
C3,C4	K50-35-10мкФ ±20%	2	
C5,C8	K50-35-470мкФ ±20%	2	
C6, C7	K10-17-0.1мкФ ±10%	2	
C9	K10-17-0.1мкФ ±10%	1	
C10- C12	K50-35-10мкФ ±20%	3	
C13,C14	K50-35-1,0 мкФ ±20%	2	
C15, C17	K50-35-200мкФ ±20%	2	
C18	K50-35-470мкФ ±20%	1	
	Резистори		
R1	СП5-2 – 10 кОм ± 5%	1	
R2	С2-23-0.125-2.2 кОм ±10%	1	
R3	С2-23-0.125-5,1 кОм ±10%	1	

ЕЛІТ 8.171.00.10.286 ПЕ

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Саганяк				Перетворювач частоти з векторним методом керування силовими елементами. Перелік елементів.	Лит.	Арк.	Аркуші
Перев.	Новгородцев						1	2
Реценз.						СумДУ ЕСМ-91		
Н. Контр.	Гапич							
Затвер..	Опанасюк							

