

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

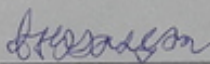
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

на тему: Розробка та дослідження перетворювача напруги для живлення електродвигунів виконавчих пристроїв залізничної автоматики (комплексна)

за освітньою програмою: «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

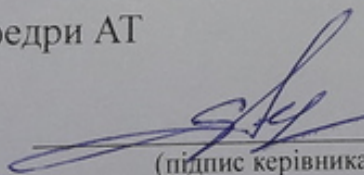
Виконав: студент групи АТ2121 (967М)



(підпис студента)

Денис АНАНЧЕНКО

Керівник: професор кафедри АТ

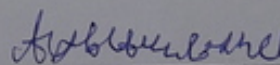


(підпис керівника)

Володимир ГАВРИЛЮК

Засвідчую, що у цій роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент



(підпис студента)

Дніпро – 2022 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master
(higher education degree)

on the topic: Development and research of a voltage converter for power supply
of electric motors of executive devices of railway automation (complex)

according to educational curriculum «Automatic and automation in transport»
in the Specialty: 151 Automation and computer-integrated technologies

Done by the student of the group AT2121 (967M) Denys ANANCHENKO

Scientific Supervisor: professor

Volodymyr HAVRYLYUK

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерні технології та системи

Кафедра: Автоматика та телекомунікації

Рівень вищої освіти: магістр

Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті

Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

_____ Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____ магістр

(ступінь вищої освіти)

студенту Ананченка Дениса Олеговича

(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема

роботи:

Розробка та дослідження перетворювача напруги для

живлення електродвигунів виконавчих пристроїв залізничної автоматики

Керівник роботи: Гаврилюк Володимир Ілліч, д.ф.-м.н., професор

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

« _____ » 2022 р. № _____

2. Строк подання студентом роботи: _____._____.2022 р.

3. Вихідні дані до

роботи:

Галузеві нормативні документи, інструкції ЦШ по

Обслуговуванню ТРК, навчальні посібники, наукові статті

4. Розробка та дослідження перетворювача напруги для живлення

електродвигунів виконавчих пристроїв залізничної автоматики

4.1. Стан проблеми. Постановка мети та завдання досліджень

4.2. Розробка структурної схеми системи автоматизованого регулювання електроприводом з асинхронним двигуном

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу	Обсяг %	Кількість креслень
1. Стан проблеми. Постановка мети та завдання досліджень	30%	
2. Системи автоматизованого управління електроприводом з асинхронним двигуном	30%	
3. Розробка структурної схеми системи автоматизованого регулювання електроприводом з асинхронним двигуном	40%	

Студент
Науковий керівник

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

70 сторінок, 3 таблиці, 49 рисунка, 38 джерел літератури.

Об'єкт проектування: системи залізничної автоматики.

Мета роботи – розробити та дослідити систему керування асинхронним приводом стрілочного переводу з керованими механічними характеристиками.

Методи дослідження – теорія чотириполюсників, експериментальні дослідження із використанням математичного апарату теорії ймовірності та математичної статистики.

У першому розділі приведений аналіз існуючих сучасних систем діагностики, які використовуються на ділянках Укрзалізниці та виявлені важливі недоліки даних систем.

У другому розділі розглянуто основні методи регулювання механічних характеристик асинхронного електроприводу.

У третьому розділі проведено дослідження керованого електроприводу стрілочного переводу зі скалярним керуванням з використанням трифазного інвертора і схеми управління з ШІМ.

Висновок. Шляхом моделювання показано, що при використанні напруги з поступово збільшуючої частотою при включенні електроприводу можна суттєво зменшити пусковий струм електроприводу, а зменшуючи частоту в кінці переводу можна усунути надмірний удар і відскок вістря стрілки від рамної рейки в кінці переводу.

Ключові слова: СТРИЛОЧНІ ЕЛЕКТРОПРИВОДИ, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ТРИФАЗНИЙ ІНВЕРТОР НАПРУГИ, ЗАЛІЗНИЧНА АВТОМАТИКА, ЦИФРОВА СИСТЕМА.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. СТАН ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	8
1.1. Стрілочні електроприводи. Загальні відомості.....	8
1.2. Перспективи модернізації електроприводів стрілочних переводів.....	12
1.3. Огляд методів регулювання координат асинхронного електропривод.....	18
1.4. Висновки за розділом. Постановка мети та завдання досліджень.....	21
2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ.....	23
2.1. Перетворювачі частоти для живлення асинхронного двигуна.....	23
2.2. Призначення та класифікація автономних інверторів	30
2.3. Трифазні інвертори напруги для живлення АД.....	41
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ.....	46
3.1. Загальна постановка задачі дослідження.....	46
3.2. Методи регулювання механічних характеристик асинхронного електроприводу.....	48
3.3. Скалярня керуванням асинхронним електроприводом.....	49
3.4. Аналіз і вибір схеми частотного керування асинхронним приводом...53	
3.5. Вибір схеми частотного керування асинхронним приводом.....	55
3.6. Дослідження частотного керування асинхронним приводом стрілочного переводу.....	57
3.7. Результати дослідження.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
ЛІТЕРАТУРА.....	65

ВСТУП

Електропривод широко використовується залізничному транспорті. Особливо широке використання електропривод набув в автоматичних шлагбаумах на залізничних переїздах та в стрілочних переводах. Слід також зауважити, що від надійності цих пристроїв значною мірою залежить безпека руху поїздів на залізницях України. В електроприводах автоматичних шлагбаумах та в стрілочних переводах використовуються різні типи електродвигунів як постійного так і змінного струму. Так шлагбауми випускається в двох модифікаціях, - номінальною напругою живлення: 220 В однофазного змінного струму або 24 В постійного струму. В стрілочних приводах використовують електродвигуни постійного струму з напругою живлення 30, 100, 160 В і змінного струму з напругою 190, 127 або 220 В. В останніх розробках використовують асинхронні двигуни змінного струму, як найбільш технологічні, що мають переваги в експлуатації порівняно з двигунами постійного струму. Для розробки принципів положень та дослідження перетворювача напруги для живлення електродвигунів виконавчих пристроїв залізничної автоматики вибрано як модельний об'єкт стрілочний електропривод змінного струму, як найбільш перспективний і розповсюджений на залізницях України тип електроприводу. Однак, розглянуті в роботі загальні положення і принципу можуть бути застосовані і для інших типів електроприводів в системах залізничної автоматики.

СТАН ПРОБЛЕМИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Стрілочні електроприводи. Загальні відомості.

Стрілочні електроприводи призначені для переводу, замикання та контролю положення стрілок електричної, диспетчерської та гіркової централізації. Електроприводи встановлюють з правої або лівої сторони стрілочних переводів на спеціальних гарнітурах. Гарнітура до комплекту постачання електроприводу не входить і замовляється окремо.

Електроприводи серії СП призначені для переводу, замикання та контролю положення стрілок з нероздільним ходом дотепників.

З 1982 року почали серійно випускати стрілочні електроприводи типу СП-6 для електричної централізації з покращеними експлуатаційними характеристиками порівняно з електроприводами типу СП-3. Для маневрових районів станцій застосовуються електроприводи типу СПГ-3М на базі електроприводу СП-6, безконтактні електроприводи типу СПГБ-4 на базі електроприводу СП-3 і СПГБ-4М на базі електроприводу СП-6.

З січня 1993 року розпочався випуск електроприводів СП-6М замість СП-6.

Всередині електроприводів всіх типів є блокувальний контакт, що вимикає привід з електричного ланцюга в момент відкриття кришки приводу з метою безпеки обслуговуючого персоналу. За відсутності електроживлення привід може бути переведений за допомогою спеціальної рукоятки, що поставляється разом з кожними п'ятьма електроприводами. При зняттю електродвигуні привод може бути також переведений на ручне управління, для чого до кожних п'яти приводів, крім спеціальної рукоятки, прикладається вісь ручного переводу.

При замовленні електроприводів необхідно вказати тип електроприводу, номінальну напругу і тип електродвигуна, а також вказати вихід шибера (праворуч або ліворуч).

Електропривод типу СП-6

Призначення. Стрілочний з внутрішнім замиканням невзрізний електропривод типу СП-6 (рис. 20512.00.00) призначений для переведення в повторно-короткочасному режимі, замикання та контролю положення в безперервному режимі стрілок з нероздільним ходом гостряків. Встановлюється з правого чи лівого боку стрілочного перевodu.

Конструкція електроприводу СП-6 наведена на рис. 1.1, кінематична схема електроприводу СП-6 наведено на рис. 1.2.

У корпусі електроприводу розміщені електродвигун 8, зрівняльна муфта 7, редуктор 6, зубчасте колесо з упором 5, блок головного валу з автоперемикачем 4, контрольні лінійки зі знімними вушками 3, шибер 2, багатоконтактний блокувальний пристрій 10, панель освітлений автоперемикача. Бічна кришка 12 має збільшену на 15 мм по висоті бобишку порівняно з електроприводом СП-3, що було потрібно у зв'язку з подовженням однієї з контрольних лінійок 3.

Відмінність корпусу 1 електроприводу СП-6 від електроприводу СП-3 полягає лише у збільшених розмірах наби, призначеної для встановлення багатоконтактного блокувального пристрою 9.

На панелі освітлення 10, призначеної для підключення переносної лампи типу ЖС12 В - 15 Вт, розташовані штепсельна розетка та регульований дротяний резистор типу ПЕВР-25 Вт - 27 Ом. Обігрівачі 11 контактів автоперемикача, штепсельна розетка та резистор ПЕВР включаються за схемою, наведеною на рис. 1.3. Резистори ПЕВ-25 Вт - 56 Ом призначені для обігріву контактів автоперемикача. У електроприводі обігрівачі вимикаються контактом блокувального пристрою БК. Сезонне включення та вимикання обігрівачів виконуються спеціальними запобіжниками, які встановлюються в релейних шафах або колійних ящиках.

Механічна передача електроприводу типу СП-6 так само, як і СП-3, чотирикаскадна. Загальне передатне число залишилося тим самим - 70,5. Редуктор суттєво реконструйований: фрикціон вбудований усередину

корпусу; всі вали обертаються у шарикопідшипниках; завдяки покращеній герметизації запобігає витіканню олії з редуктора. Для лівої установки електроприводу на контрольних лінійках, на відміну правосторонньої установки, вушка переставляють в інший бік лінійок.

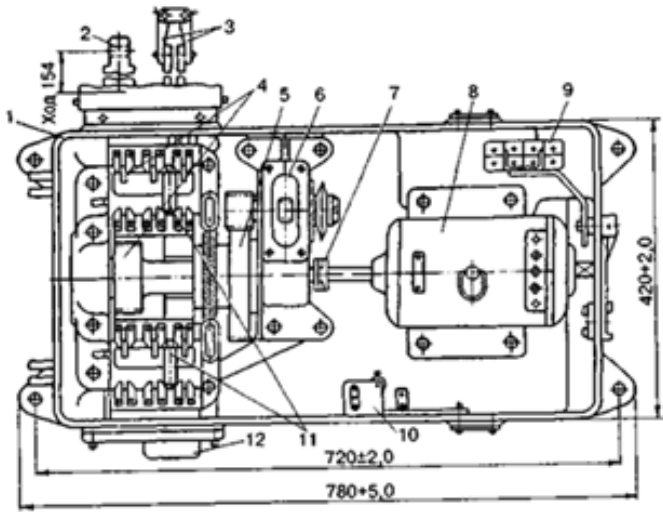


Рисунок 1.1. Конструкція електроприводу СП-6

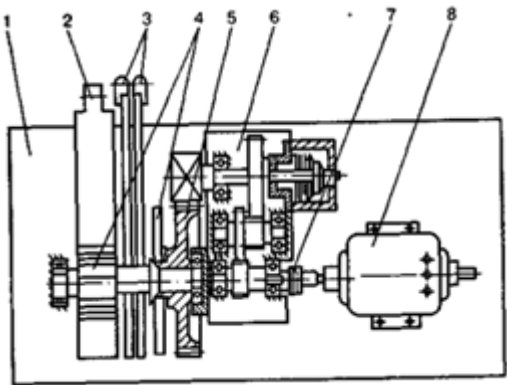


Рисунок 1.2. Кінематична схема електроприводу СП-6

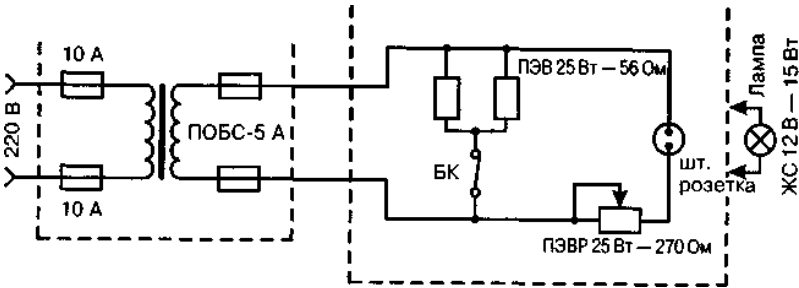


Рисунок 1.3. Схема включення обігрівачів та переносної лампи

Таблиця 1.1. Електрична характеристика СП-6

Тип и напряжение на электродвигателе. Схема соединения обмоток		Характеристика ¹ при нагрузке на шибере, кН (кгс)							
		0	1 (100)	2 (200)	3 (300)	3,5 (350)	4 (400)	5 (500)	6 (600)
Постоянного тока МСП-0,15	30 В	4,0	7,0	9,5	—	—	—	—	—
		2,6	4,0	5,5	—	—	—	—	—
	110 В	1,1	1,9	2,6	3,3	3,7	4,0	4,6	5,5
		2,3	3,3	4,2	4,8	5,2	5,5	6,5	7,4
	160 В	0,7	1,3	1,8	2,3	2,5	2,7	3,3	3,7
		2,2	3,2	4,0	4,5	4,9	5,3	6,0	7,0
Постоянного тока МСП-0,25	30 В	6,5	10,3	14,2	—	20,0	—	—	—
		1,8	2,3	2,7	—	3,7	—	—	—
	100 В	1,7	2,8	4,1	5,2	5,8	6,3	7,4	8,3
		1,5	2,1	2,5	2,8	3,0	3,1	3,3	3,7
	160 В	1,4	2,0	2,8	3,5	3,9	4,2	5,0	5,5
		1,4	1,8	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2	3,5
Трехфазного переменного тока МСТ-0,25	127 В, об- мотки сое- динены в треуголь- ник	2,1	2,3	2,6	—	3,7	—	—	—
		2,7	2,9	3,1	—	3,8	—	—	—
	220 В, об- мотки сое- динены в звезду	1,2	1,3	1,5	—	2,2	—	—	—
		2,7	2,8	3,1	—	3,8	—	—	—
Трехфазного переменного тока МСТ-0,3	190 В, об- мотки сое- динены в звезду	1,5	1,6	1,7	—	1,8	—	—	—
		4,0	4,3	4,7	—	4,9	—	—	—
Трехфазного переменного тока МСТ-0,6	190 В, об- мотки сое- динены в звезду	1,3	1,7	2,5	—	3,0	—	—	—
		1,5	1,6	1,7	—	1,8	—	—	—

У чисельнику вказаний споживаний струм (не більше, А), у знаменнику - час переводу (не більше, с). У електроприводів з електродвигунами змінного струму граничне відхилення напруги на електродвигуні +10%.

Електричні характеристики електроприводів типу СП-6 наведено у табл. 1.1.

Нумерація контактної системи електроприводів СП-6 аналогічна раніше описаної електроприводу СП-2Р. Конструкція редуктора з фрикційною муфтою забезпечує при роботі електроприводу постійне змащування рідкими мастильними матеріалами обертових деталей і фрикційних дисків. Перед складанням осі деталей, що обертаються, ролики, шибер, контрольні лінійки, шестерні, вал-шестерні і диски фрикції змащуються індустріальним маслом. Підшипники змащуються мастилом ЦИАТИМ-201.

Напрацювання на відмову електроприводу СП-6 становить 6,2-10⁵ переводів робочого шибера. Призначений ресурс за умови дотримання

правил експлуатації становить 1,2106 переводів робочого шибєру при навантаженні до 3500 Н (350 кгс) та 6-105 переводів робочого шибєру при навантаженні до 6000 Н (600 кгс). Середній термін служби електроприводу становить 20 років.

1.2. Перспективи модернізації електроприводів стрілочних переводів

Розвиток техніки залізничної автоматики та вдосконалення технології її обслуговування значною мірою сприяє підвищенню безпеки руху та покращенню економічних показників діяльності залізниць. Особлива роль у своїй приділяється станційним системам автоматики і телемеханіки, т.к. основні технологічні операції з прийому, відправлення та переробки поїздів виконуються на станціях. Ефективність функціонування цих систем багато в чому залежить від якості виконавчих пристроїв, важливе місце серед яких займають стрілочні переводи. Наприклад, залізниці Північної Америки щорічно витрачають 300 млн. дол. США на заміну елементів стрілочних переводів та глухих перетинів та 500 млн. дол. – на їх поточне утримання та ремонт. Витрати, пов'язані із затримками поїздів через несправності стрілочних переводів, становлять 200–600 млн. дол., а з усуненням наслідків сходів рухомого складу – 16 млн. дол. Таке положення пояснює масштаб витрат коштів на продовження терміну служби стрілочних переводів. Тому все більш актуальним є удосконалення існуючих типів стрілочних приводів, розробка нових, а також підвищення їхньої надійності.

Вперше стрілочні переводи з'явилися в Італії в 1873 р. Залежно від призначення та умов з'єднання шляхів розрізняють поодинокі, подвійні та перехресні стрілочні переводи. Поодинокі переводи поділяють на прості, симетричні та несиметричні. Звичайний стрілочний привід найпоширеніший. До складу стрілочного приводу входять власне стрілка, хрестовина з контррейками, сполучна частина, розташована між ними, та перевідні бруси (рис.1.4).

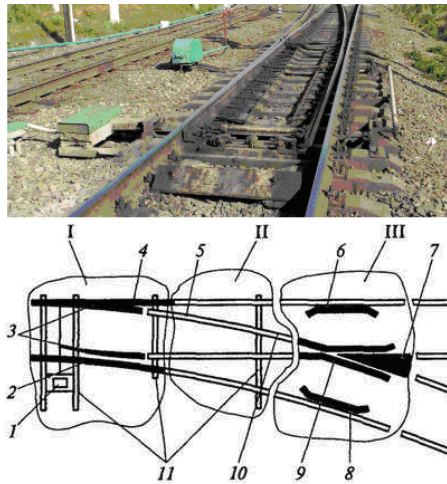


Рисунок 1.4 – Фото та схема звичайного стрілочного переводу:

I – стрілка; II – сполучні шляхи;

III – комплект хрестовинної частини; 1 – перевідний механізм; 2, 4 – рамні рейки; 3 – гостряк;

5 – упруга нитка перевідної кривої;

6, 8 – контррейки; 7 – сердечник хрестовини; 9 – усовик; 10 - кінець перевідної кривої;

11 – перевідні бруси

Одним із основних елементів стрілки є стрілочний привід. На залізницях України застосовуються електроприводи серії СП, раніше застосовувалися також серії СПВ. Наразі вся автоматика «Укрзалізниці» у складі елементної бази засобів СЦБ має приводи марок СП-3 та СП-6, а також модифікації на їх основі (СПГБ-4М, ВСП-150, СП-12У), у яких зміни радикально не торкнулися головних конструктивних вузлів, розроблених ще СРСР у 1972 і 1983 рр. . На рис. 1.5 представлений загальний вигляд та креслення стрілочного приводу марки СП-6.

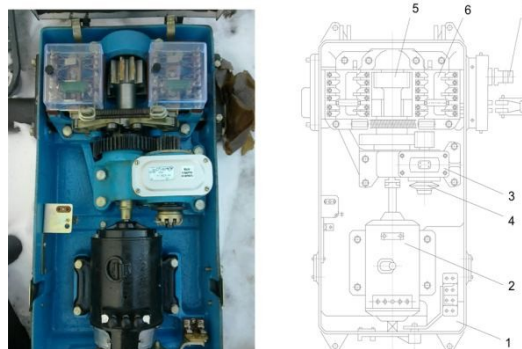


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд та креслення стрілочного електроприводу СП–6:

1 – корпус; 2 – електродвигун; 3 – редуктор; 4 – фрикціон; 5 – головний вал;
6 – автоперемикач; 7 – контрольні лінійки

Даний електропривод складається з трьох основних блоків: електродвигуна 2, редуктора 4 з фрикціоном 3, перемикача 6, розташованих в корпусі 1.

На раніше розглянутих типах стрілочних переводів України застосовуються два види електродвигунів – постійного струму (ДПТ) та змінного (асинхронний (АТ)) (рис. 1.6).

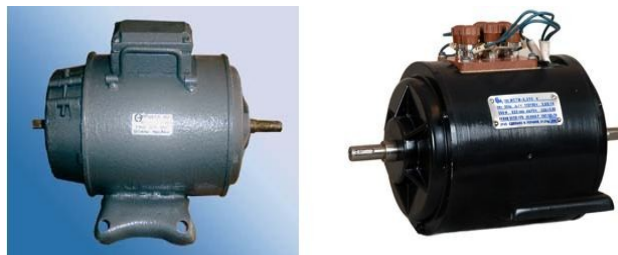


Рисунок 1.6. – Двигун постійного струму МСП–0,25 (ліворуч) та асинхронний двигун МСТМ–0,3 У2 (праворуч)

Незважаючи на використання таких двигунів, вони мають ряд істотних недоліків.

Енергетична діаграма електроприводу типу СП-6 (рис. 1.7) характеризує співвідношення втрат у різних його частинах та корисної потужності при номінальному навантаженні на шибєрі.

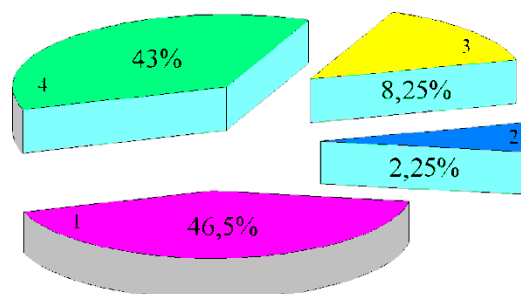


Рисунок 1.7. – Енергетична діаграма електроприводу типу СП–6:

1 – втрати у двигуні та редукторі; 2 – втрати в автоперемикачі; 3 – втрати у шиберній парі; 4 – корисна потужність

Як показано на діаграмі, корисна потужність існуючих вітчизняних стрілочних електроприводів становить лише 43%. При цьому значна частина енергії (майже половина від всієї споживаної потужності) витрачається в редукторі та двигуні, останній з яких (постійного струму, асинхронний) має свої недоліки. Незважаючи на це, такі системи в багаторічній практиці роботи показали себе з позитивного боку, але зараз вони не можуть впоратися з новими проблемами, функціями та завданнями, які ставляться в інших країнах світу.

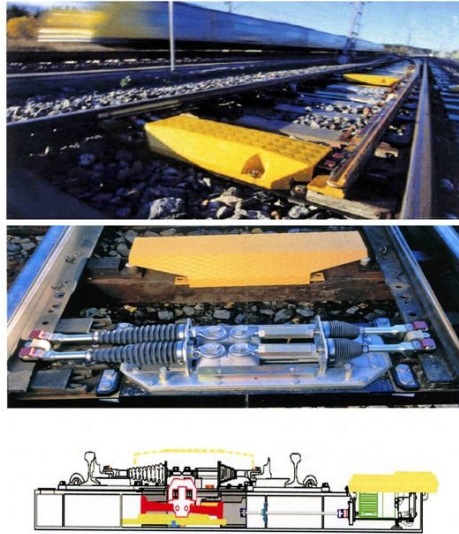
Фірмою "ЕЛМА-Ко" розроблено безконтактний керований електродвигун (надалі – ДБУ), призначений для роботи у складі стрілочних електроприводів постійного струму.

Технічні характеристики ДБУ дозволяють замінювати двигуни МСП–0,15, МСП–0,25 у стрілочних електроприводах типу СП–6 у всьому діапазоні навантажень. ДБУ складається з двох частин: власне електричної машини та електронного комутатора у поєднаному виконанні як один вузол. Електрична машина має статор з обмотками та ротор, на якому розташовані постійні магніти.

На мій погляд, найбільш перспективними сьогодні є перевідні механізми, що вбудовуються в шпали, які розраховані на зниження їх вартості та збільшення життєвого циклу за весь термін служби, як приклад, система Hydrostar (рис. 1.8) або Switch 2000 (рис. 1.9).



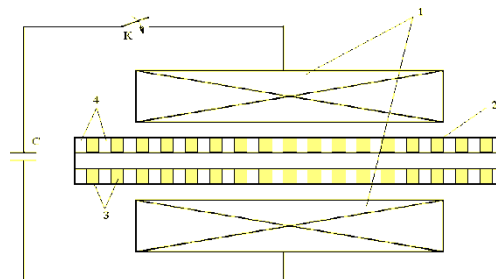
Рисунок 1.8. – Система Hydrostar

Рисунок 1.9 – Стрільний привід із частотним регулюванням ЕВІ
Switch 2000

У цих системах раціонально використовувати нові типи електродвигунів – вентилянореактивні (ВРД) чи лінійні (ЛД), представлені, відповідно, на рис. 1.10, 1.11.



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд ВРД ЕМСУ-0,25-160 В

Рисунок 1.11 – Лінійний електромеханічний перетворювач
індукційного типу:

1 – індуктор; 2 – якір; 3 – мідні диски; 4 – диски з феромагнетика

ВРД складається з ротора та статора з явно вираженою двосторонньою зубчастістю. На зубцях статора розміщена зосереджена однойменнополюсна обмотка. Зубчастий ротор пасивний, тобто. не містить елементів, що утворюють магнітне поле (обмотки, магніти). Невід'ємною частиною двигуна є датчик положення ротора, який може бути використаний і як датчик положення дотепників. ВРД для стрілочних приводів типу ЕМСУ (рис.7) розроблено ТОВ ЕТЗ «Гексар». Система керування таким двигуном передбачає можливість забезпечення синхронної роботи двох і більше електроприводів, що робить його перспективним для застосування у стрілочних переведеннях швидкісних доріг. Основні технічні характеристики двигуна ЕМСУ наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Характеристики двигуна ЕМСУ

Тип	$I_{\text{н}}, \text{А}$	n , об/мин	$M_{\text{н}}$	$U_{\text{н}}, \text{В}$
ЭМСУ-0,25-160В	2,5	1700	1,47	≈ 160
ЭМСУ-0,25-100В	3,6	1700	1,47	≈ 100
ЭМСУ-0,3-190В	2,1	850	3,43	≈ 190
ЭМСУ-0,55-200В	3,6	3600	1,47	≈ 200
ЭМСУ-0,5-190В	2,9	1370	3,47	~ 190
ЭМСУ-0,6-190В	2,8	2850	2,37	~ 190

Принцип дії електро механічних перетворювачів індукційного типу (рис. 1.11) заснований на взаємодії магнітного поля, збудженого змінним періодичним, імпульсним або аперіодичним струмом обмотки індуктора з струмом, що наводиться, в дисках якоря, який переміщається лінійно.

1.3. Огляд методів регулювання координат асинхронного електропривода

Принцип дії асинхронної машини в самому загальному вигляді полягає в наступному: один з елементів машини - статор використовується для створення магнітного поля, що рухається з певною швидкістю, а в замкнутих провідних пасивних контурах іншого елемента - ротора наводяться ЕРС, що викликають протікання струмів і освіту сил (моментів)

за її взаємодії з магнітним полем. Всі ці явища мають місце при несинхронному – асинхронному русі ротора щодо поля, що й дало машинам такого типу назву – асинхронні.

Незважаючи на простоту фізичних явищ і конструктивів, що їх матеріалізують, повний математичний опис процесів в асинхронній машині дуже складно:

по-перше, вся напруга, струми, потокозчеплення - змінні, тобто. характеризуються частотою, амплітудою, фазою чи відповідними векторними величинами;

по-друге, взаємодіють рухомі контури, взаємне розташування яких змінюється в просторі;

по-третє, магнітний потік нелінійно пов'язаний з струмом, що намагнічує (проявляється насичення магнітного ланцюга), активні опори роторного ланцюга залежать від частоти (ефект витіснення струму), опору всіх ланцюгів залежать від температури і т.п.

Розглянемо найпростішу модель асинхронної машини, придатну пояснення основних явищ в асинхронному електроприводі.

У випадку для машини, має p пар полюсів ($p=1,2,3\dots$), синхронна кутова швидкість, рад/с, тобто. швидкість поля, визначиться як

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}; \quad (1.1)$$

для частоти обертання n_0 , об/хв, матимемо:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}, \quad (1.2)$$

тобто. при живленні від мережі $f_1 = 50\text{Гц}$ синхронна частота обертання може бути 3000, 1500, 1000, 750, 600 ... об / хв в залежності від конструкції машини.

Вирази (1.1) і (1.2) мають важливий характер: вони показують, що з цієї машини є лише одне можливість змінювати швидкість поля - змінювати частоту джерела живлення f_1 .

Процеси при $\omega = \omega_0$

Нехай ротор обертається із швидкістю ω_0 , тобто. його обмотки не перетинають силових ліній магнітного поля і він не надає істотного впливу на процеси.

У досить грубому, але іноді корисному наближенні можна представити обмотку фази статора як деяку ідеальну котушку, до якої прикладено змінну напругу $u_1 = U_m \sin \omega t$. Ми будемо далі або позначати його та інші синусоїдально змінні відповідні заголовні літери, якщо інтерес представляють лише їх діючі значення, або будемо додавати крапку вгорі, показуючи тим самим, що йдеться про тимчасовий вектор, що має амплітуду $U_m = \sqrt{2}U$ і фазу φ .

Очевидно, що прикладена напруга $\dot{U}_1$ врівноважується ЕРС самоіндукції $\dot{E}_1$ (рис. 1.12, а, б)

$$E_1 = 4,44 \Phi f_1 w_1 k_{o\phi}, \quad (1.3)$$

де w – число витків обмотки; $k_{o\phi}$ - коефіцієнт, що залежить від конкретного виконання обмотки.

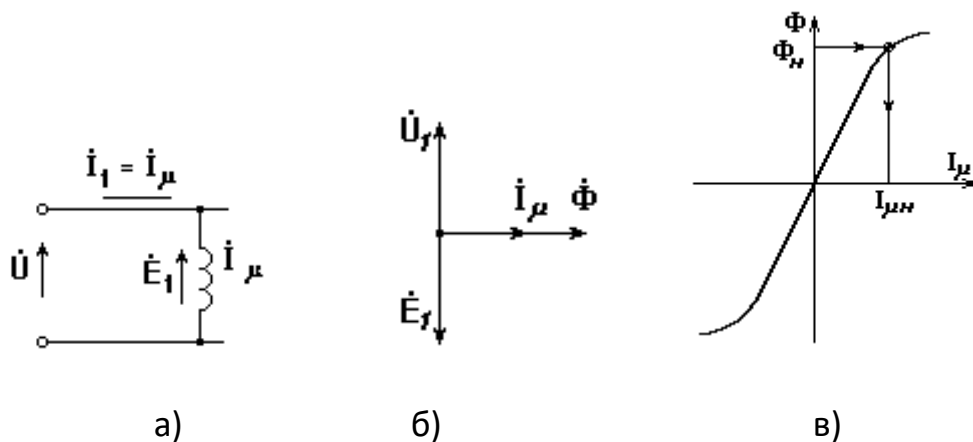


Рисунок. 1.12. Ідеалізована модель асинхронної машини при $\omega = \omega_0$

(а), векторна діаграма (б) та крива намагнічування (в)

Можна приблизно вважати, що магнітний потік визначається прикладеною напругою, частотою і параметрами обмотки:

$$\Phi \approx \frac{U_1}{4,44 f_1 w_1 k_{об}} \equiv \frac{U_1}{f_1}. \quad (1.4)$$

Струм в обмотці (фазі) статора - струм намагнічування визначиться при цьому лише магнітним потоком і характеристикою намагнічування машини (рис. 1.12, в):

$$I_1 = I_{10} = I_\mu$$

У серійних машинах за $U_1=U_{1н}$ і $f_1=f_{1н}$, тобто. при номінальному магнітному потоці струм холостого ходу I_{10} зазвичай становить 30% - 40% від номінального струму статора $I_{1н}$.

Процеси під навантаженням

При навантаженні валу $\omega \neq \omega_0$; відмінність швидкостей ω і ω_0 прийнято характеризувати ковзанням

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}. \quad (1.5)$$

Тепер у роторному ланцюзі з'явиться ЕРС E'_2 , наведена згідно із законом електромагнітної індукції та рівна

$$E'_2 = E_1 s; \quad (1.6)$$

штрихом тут і далі відзначені наведені величини, що враховують неоднаковість статора і ротора обмоток. Частота наведеної ЕРС становить

$$f_2 = f_1 s \quad (1.7)$$

Струм I'_2 у роторному ланцюзі, що має опір R'_2 та індуктивність L'_2 , визначиться як

$$I'_2 = \frac{E'_2}{\sqrt{(R'_2)^2 + (2\pi f_2 L'_2)^2}}$$

або після простих перетворень

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(R_2'/s)^2 + (X_2')^2}}, \quad (1.8)$$

де X_2' - індуктивний опір розсіювання вторинного ланцюга при частоті f_1 .

Я отримав рівняння, що відповідає традиційній схемі заміщення фази асинхронного двигуна - рис. 1.13, в якій враховані параметри статора R_1 і X_1 . Ця проста модель придатна для аналізу режимів, що встановилися, при симетричному двигуні з симетричним живленням.

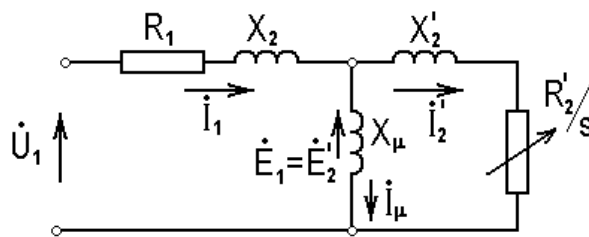


Рисунок 1.13. Схема заміщення фази асинхронного двигуна

1.4. Висновки за розділом. Постановка мети та завдання досліджень.

1. Використання асинхронних двигунів (АД) у стрілочних електроприводах, є більш технологічним і ефективним оскільки такі двигуни прості і надійні у порівнянні з двигунами постійного струму внаслідок відсутності рухомих контактів, а також менших розмірів, маси і вартості при аналогічній потужності. Але швидкість обертання валу та інші механічні характеристики АД складно регулювати, що суттєво обмежувало використання АД.

2. Особливістю стрілочних переводів, що знаходяться в експлуатації на залізницях України і у більшості залізниць світу є те, що це розімкнуті системи без можливості регулювання основних координат електроприводу. Це приводить до низки недоліків, а саме не дозволяє зменшувати час переводу стрілки. Зменшення часу переводу стрілки збільшує пусковий струм двигуна і викликає удар вістряка по рамній рейці.

Також при забруднення гостряків стрілки її перевод відбувається нерівномірно, бо зусилля на валу не регулюється. Неправильне регулювання стрілки приводить до пружності вістряка.

3. Регулювання механічних характеристик електроприводу з використанням зворотного зв'язку і контролем швидкості обертання валу, струму переводу стрілки дозволяє покращити механічні характеристики стрілочного переводу, зменшити час переводу та усунути удар стрілки в кінці переводу. Таким чином, існує доцільність розробки систем регулювання швидкості та позиціонування гостряків для існуючих стрілочних переводів.

Відповідно до зроблених висновків в роботі поставлено мету розробити та дослідити систему керування асинхронним приводом стрілочного переводу з керованими механічними характеристиками.

2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

2.1. Перетворювачі частоти для живлення асинхронного двигуна

Перетворювачі частоти — це пристрої, що перетворюють змінний струм однієї частоти змінний струм іншої частоти.

Розрізняють два класи перетворювачів частоти: з безпосереднім зв'язком; із проміжною ланкою постійного струму.

Останні поділяються на:

- а) зі ланкою постійного струму;
- б) зі ланкою постійної напруги;
- в) резонансні.

За кількістю фаз випускають:

- а) однофазні;
- б) трифазні.

За способом керування ключами схем застосовують:

- а) векторне;
- б) скалярне;
- в) із модуляцією за частотою;
- г) з модуляцією за фазою чи періодом.

Як електронні ключі в інверторах застосовуються тиристори GTO, що замикаються, і їх удосконалені модифікації GCT, IGCT, SGCT, і біполярні транзистори з ізольованим затвором IGBT.

За величиною напруги живлення випускають низьковольтні і високовольтні перетворювачі.

У високовольтних використовуються такі схемні рішення:

- 1) двотрансформаторна схема перетворювача частоти;
- 2) схема перетворювача із послідовним включенням ключів;
- 3) схема перетворювача з багатообмотувальним трансформатором.

1. Перетворювач з безпосереднім зв'язком

Історично перший перетворювач - це перетворювач із безпосереднім зв'язком (рис.2.1). В даний час перетворювачі з безпосереднім зв'язком практично не знаходять застосування через вузький діапазон вторинних частот. Перетворювач представляє керований випрямляч на тиристорах, в якому в силовій частині система управління по черзі підключає статорні обмотки до мережі живлення.

Таким чином, вихідна напруга перетворювача формується з "вирізаних" ділянок синусоїд вхідної напруги. На рис.2.1, б. показаний приклад формування вихідної напруги для однієї із фаз навантаження. На вході перетворювача діє трифазна синусоїдальна напруга u_a , u_b , u_c . Вихідна напруга $u_{\text{вих}}$ має несинусоїдальну «пилкоподібну» форму, яку умовно можна апроксимувати синусоїдою.

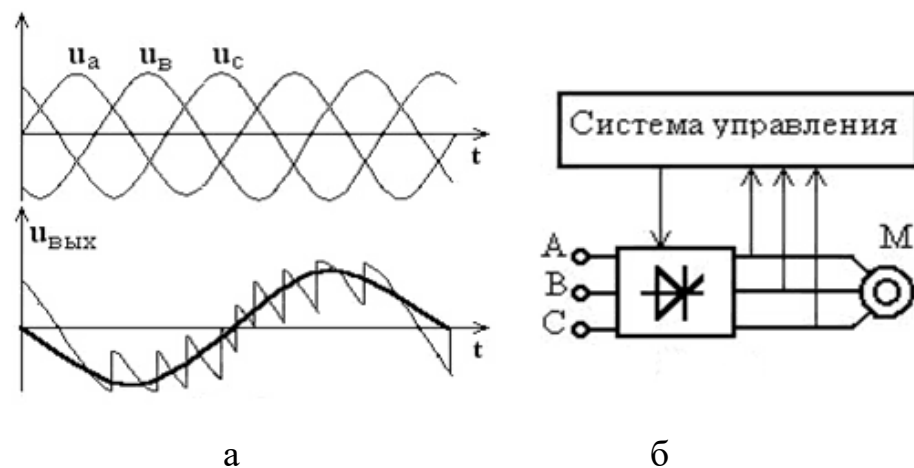


Рисунок 2.1. Схема перетворювача із безпосереднім зв'язком

З малюнка видно, що частота вихідної напруги не може дорівнювати або вище частоти мережі живлення. Вона знаходиться у діапазоні від 0 до 30 Гц. Як наслідок – малий діапазон керування частоти обертання двигуна (не більше 1:10). Це обмеження не дозволяє застосовувати такі перетворювачі в сучасних частотно регульованих приводах із широким діапазоном регулювання технологічних параметрів.

2. Перетворювачі з проміжною ланкою

Такі перетворювачі поділяються на перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком і природною комутацією струму тиристорів і з

безпосереднім зв'язком зі штучною комутацією струму тиристорів. Перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму дозволяють регулювати вихідну частоту за допомогою системи управління інвертора СУІ в широкому діапазоні як вгору, так і вниз від частоти мережі живлення. Даний тип перетворювачів частоти має просту схему силової частини, а отже, і системи керування.

Частота обертання магнітного поля n_1 залежить від частоти напруги живлення. При живленні обмотки статора електричного двигуна трифазною напругою з частотою f створюється магнітне поле, що обертається. Швидкість обертання цього поля визначається за відомою формулою

$$\omega_1 = \frac{2\pi f}{p} \quad (2.1)$$

де p - Число пар полюсів статора.

Перехід від швидкості обертання поля ω_1 , що вимірюється в радіанах, до частоти обертання n_1 , вираженої в обертах за хвилину, здійснюється за такою формулою:

$$n_1 = 60\omega_1 / 2\pi \quad (2.2)$$

де 60 - Коефіцієнт перерахунку розмірності.

Підставивши в це рівняння швидкість обертання поля ω_1 , отримаємо,

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (2.3)$$

Таким чином, частота обертання ротора синхронного та асинхронного двигунів залежить від частоти напруги мережі живлення.

На цій залежності і ґрунтується метод частотного регулювання.

Змінюючи за допомогою перетворювача частоту f на вході двигуна ми регулюємо частоту обертання ротора.

У існуючих перетворювачах частоти при скалярному управлінні найчастіше підтримуються постійним ставленням максимального моменту двигуна моменту опору на валу. Тобто при зміні частоти амплітуда напруги

змінюється таким чином, що відношення максимального моменту двигуна до моменту навантаження залишається незмінним. Це відношення називається перевантажувальною здатністю двигуна. Максимальний момент, що розвивається двигуном, визначається наступною залежністю між напругою та частотою:

$$M_{\max} = k \frac{U^2}{f^2} \quad (2.4)$$

де k - постійний коефіцієнт.

При сталості перевантажувальної здатності номінальний коефіцієнт потужності та ККД двигуна на всьому діапазоні регулювання частоти обертання практично не змінюються.

Тому залежність напруги живлення від частоти визначається характером навантаження на вал електричного двигуна.

Для постійного моменту навантаження підтримується відношення $U/f = \text{const}$, і по суті забезпечується сталість максимального моменту двигуна. Але на малих частотах починаючи з деякого значення частоти максимальний момент двигуна починає падати. Для компенсації цього і збільшення пускового моменту використовується підвищення рівня напруги живлення.

Використовуючи залежність максимального моменту, що крутить, від напруги і частоти, можна побудувати графік U від f для будь-якого типу навантаження.

Важливою перевагою скалярного методу є можливість одночасного керування групою електродвигунів. Скалярне керування достатньо для більшості практичних випадків застосування частотно регульованого електроприводу з діапазоном регулювання частоти обертання двигуна до 1:40.

Векторне керування дозволяє суттєво збільшити діапазон керування, точність регулювання, підвищити швидкодію електроприводу. Цей метод забезпечує безпосереднє керування крутним моментом двигуна.

Структурна схема перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму показано на рис. 2.2. Напруга мережі випрямляється керованим випрямлячем 1, що має систему управління *СУВ*, фільтрується *LC*-фільтром 2 і подається на автономний інвертор *AI-3*. Функції регулювання частоти вихідної напруги здійснює інвертор, а напруги – випрямляч. Іноді обидві функції поєднує інвертор, а випрямляч виконують некерованим. Основним недоліком перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму є подвійне перетворення енергії - випрямлення та інвертування, що призводить до зниження ККД і погіршення масогабаритних показників. У перетворювачах частоти з проміжною ланкою постійного струму можна здійснити вільний обмін електричною енергією між споживачем і мережею живлення в обох напрямках. Для такого обміну потрібні повністю керовані вентиля із двосторонньою провідністю.

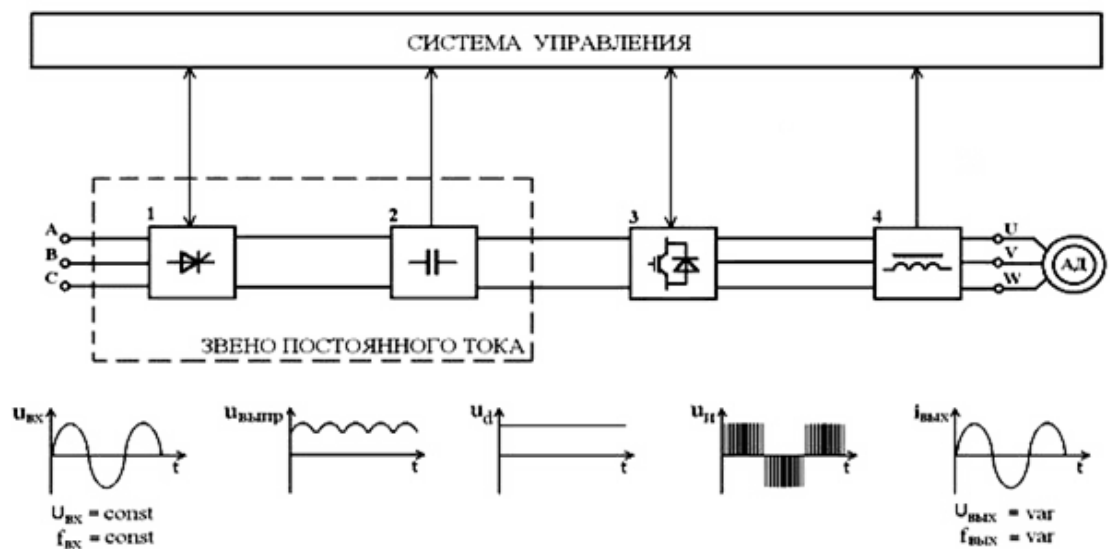


Рисунок 2.2. Перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму

Відповідно до сучасного напрямку розвитку науки і техніки перетворювачі частоти будують на регульованих випрямлячах та інверторах керованих однокристалльної мікро ЕОМ (рис.2.3).

Для силової частини перетворювача використовують тиристори та потужні польові та IGBT-транзистори. Інвертор перетворювача частоти на тиристорах має більшу вартість, вагу, габарити, складніший монтаж,

конструкцію та меншу надійність. Транзисторний перетворювач частоти ґрунтується на широтно-імпульсній модуляції. Для управління перетворювачем, що живить трифазний двигун, використовується контролер, що має 6 виходів ШІМ: по два на кожен фазу – один для верхньої півхвилі, інший для нижньої. Також мікроконтролер повинен забезпечувати можливість запровадження зворотних зв'язків, отже, мати АЦП, цифрові вводи–виводи до створення програмних клавіш, можливість програмування і перепрограмування з персональної ЕОМ. У схемі вбудовані ланцюги захисту, які оберігають силові пристрої від пошкоджень у разі системного збою чи перенапруги. Ці ланцюги виявляють несправність і виключають схеми. Захист передбачений у наступному обсязі: захист від струму короткого замикання; мінімальний захист по керуючій напрузі; температурний захист.

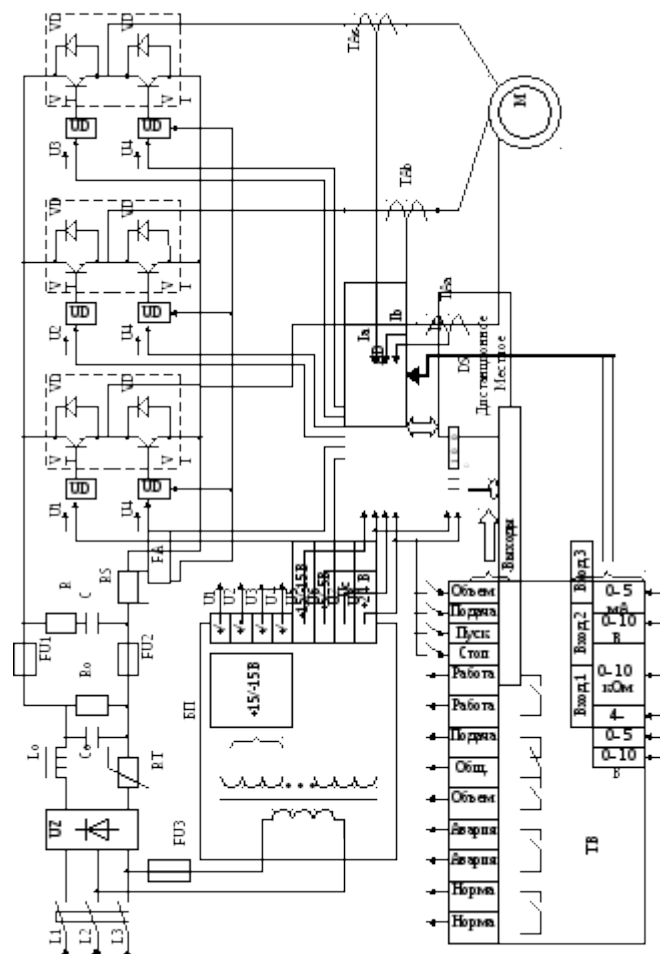


Рисунок 2.3. Схема транзисторного перетворювача частоти з цифровим керуванням

Також у силового драйвера передбачено вихідний сигнал помилки FAULT, щоб попереджати контролер про спрацювання будь-якого захисту. У разі спрацювання ланцюга захисту на виході драйвера формується сигнал FAULT і контролер припиняє ШІМ модуляцію. Для узгодження рівнів напруги на виходах контролера та входах силових транзисторів передбачена гальванічна розв'язка на діодно-транзисторних оптронах АОТ.

Головною перешкодою на шляху їх використання у високовольтному приводі з прямим перетворенням частоти та при потужностях вище 1 – 2 МВт зараз є технологічні обмеження. Збільшення напруги, що комутується, і робочого струму призводить до збільшення розмірів транзисторного модуля, а також вимагає більш ефективного відведення тепла від кремнієвого кристала.

Нові технології виробництва біполярних транзисторів спрямовані на подолання цих обмежень, і перспективність застосування IGBT дуже висока також високовольтному приводі. В даний час IGBT транзистори застосовуються у високовольтних перетворювачах у вигляді послідовно з'єднаних одиничних модулів з меншою робочою напругою. Кількість модулів визначається величиною робочого напруження та струмом навантаження.

В останні роки велику увагу, що диктується потребами ринку, приділяють розробці та створенню високовольтних частотних перетворювачів. Необхідна величина вихідної напруги перетворювача частоти високовольтного електроприводу досягає 10 кВ і вище при потужності до декількох десятків мегават. Вентильні високовольтні перетворювачі частоти призначені для частотного пуску та регулювання швидкості обертання високовольтних електродвигунів потужністю 250-5000 кВт. Вони перетворюють електричну енергію трифазної мережі змінного струму промислової частоти напругою 3, 6 або 10 кВ трифазну напругу з

параметрами частоти і напруги, змінюваними за законом частотного регулювання. Існує *чотири* основні схеми побудови вентильних перетворювачів зі ланкою постійного струму:

- Прямого перетворення ПЧСВ;
- з низьковольтною ланкою ПЧСН;
- багаторівневі;
- Каскадні.

2.2. Призначення та класифікація автономних інверторів

Автономні (незалежні) інвертори – це пристрої, що працюють на автономне навантаження і призначені для пере Автономні (незалежні) інвертори – це пристрої, що працюють на автономне навантаження і призначені для перетворення напруги постійного струму в напругу змінного струму заданої або регульованої частоти. В автономних інверторах вихідні параметри (форма, частота напруги) визначаються схемою інвертора та його системою керування у відмінності від інверторів, ведених мережею. Застосовують автономні інвертори:

- ♦ - у системах електропостачання споживачів змінного струму, коли єдиним джерелом живлення є джерело напруги постійного струму (наприклад, акумуляторна або сонячна батарея);
- ♦ - у системах гарантованого електропостачання при зникненні напруги мережі живлення (наприклад, для особистих потреб електростанцій – для живлення пристроїв контролю, вимірювання, захисту, ЕОМ);
- ♦ - для живлення технологічного устаткування, частота напруги якого відрізняється від промислової частоти 50 Гц;
- ♦ - для частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів;
- ♦ - для живлення споживачів змінного струму від ліній електропостачання постійного струму.

Залежно від специфіки електромагнітних процесів розрізняють інвертори струму та інвертори напруги. На рис. 2.4. зображені приклади їхніх схем.

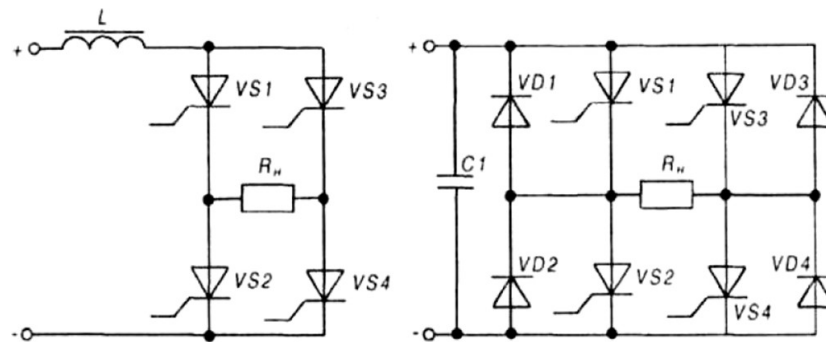


Рисунок 2.4. Автономні інвертори струму (а) та напруги (б)

В інверторах струму силове коло схеми підключається до джерела постійної напруги через дросель L з великим індуктивним опором, за рахунок чого утворюється джерело постійного струму з властивостями джерела струму.

В інверторах напруги паралельно джерелу живлення вмикається конденсатор великої ємності, чим виключається вплив на роботу пристрою внутрішнього опору джерела (отримуємо джерело напруги).

Таким чином, комутація тиристорів в інверторах струму проводиться при сталому струмі, а в інверторах напруги – при сталій напрузі.

При роботі інвертора схема керування по чергово вмикає пари тиристорів $VS1, VS4$ або $VS2, VS3$, завдяки чому на навантаженні R_n виникає змінна напруга (за допомогою ключової схеми навантаження підключається таким чином, щоб в ньому протікав струм різних напрямків).

Якщо навантаження інвертора напруги має індуктивний або активно-індуктивний характер, то паралельно тиристорам вмикають зворотні діоди ($VD1-VD4$ на рис. 2.4, б). Цим забезпечується передача накопичуваної в індуктивності енергії назад у джерело живлення.

Основною проблемою при проектуванні інверторів є забезпечення надійного вимикання тиристорів, що знаходяться у провідному стані, перед вмиканням тиристорів, що не проводили струм. Це реалізується використанням схем примусової комутації, що забезпечують запирання тиристорів у колах постійного струму.

Вентильна схема в наведених інверторах є мостовою, як і у випрямлячі (що є перетворювачем напруги змінного струму в напругу постійного струму).

Звідси можна зробити висновок, що керовані вентильні схеми є зворотними. Вони можуть передавати енергію як в одному, так і в іншому напрямку, залежно від місця вмикання джерела і навантаження і від алгоритму керування.

Однофазний інвертор струму

Схема однофазного інвертора струму з трансформаторним виходом зображена на рис. 2.5. Почергове вмикання тиристорів $VS1$ або $VS2$ забезпечує виникнення на навантаженні R_H змінної напруги. Дросель L забезпечує незмінність величини струму у силовому колі. Комутуючий конденсатор C_K забезпечує примусове вимикання тиристорів. Первинні напівобмотки трансформатора TV $w'_2 = w''_2 = w_1$ підключені до тиристорів $VS1$ і $VS2$ відповідно, а його вторинна обмотка w_2 – до навантаження R_H .

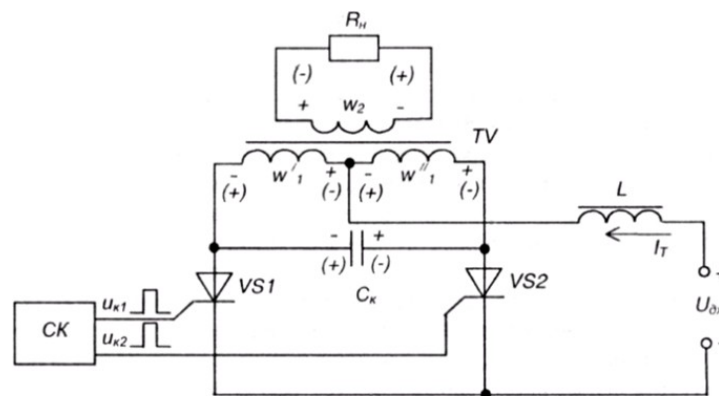


Рисунок 2.5. Однофазний інвертор струму з трансформаторним виходом

Схема керування тиристорами C_K забезпечує подачу керуючих імпульсів на тиристири (у найпростішому випадку це може бути симетричний мультивібратор, що працює в автоколивальному режимі).

Працює інвертор наступним чином. При надходженні від C_K керуючого імпульсу до $VS1$ він вмикається і напруга джерела живлення подається на півобмотку w'_1 . Потік у магнітопроводі трансформатора змінюється і наводить у обмотках w_2 і w''_1 ЕРС із полярністю, яка на схемі вказана без дужок. При цьому комутуючий конденсатор C_K , який підключено паралельно до первинної обмотки трансформатора, заряджається до напруги $2U_{дж}$, а на навантаженні R_H з'являється позитивний сплеск напруги.

Після закінчення проміжку часу, що відповідає додатній півхвилі змінної напруги навантаження, C_K вмикає тиристор $VS2$ і напруга джерела живлення подається на півобмотку w''_1 . Конденсатор C_K через $VS2$ підключається паралельно до $VS1$, причому полярність напруги на ньому є такою, що вимикає останній.

Полярність ЕРС, наведеної в обмотках трансформатора після вмикання $VS2$, на схемі показана у дужках. Конденсатор C_K починає перезаряджатись до напруги $2U_{дж}$ із зворотною полярністю (вказана на схемі також у дужках). На навантаженні виникає негативний сплеск напруги.

По закінченні проміжку часу, що відповідає від'ємній півхвилі змінної напруги, C_K знову вмикає тиристор $VS1$ і процеси повторюються. Роботу однофазного інвертора струму ілюструють часові діаграми, наведені на рис. 2.6.

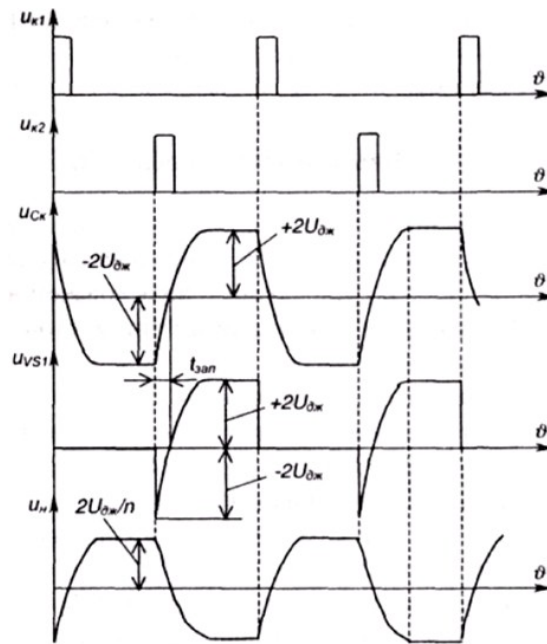


Рисунок 2.6. Часові діаграми роботи однофазного інвертора струму

Час, протягом якого напруга між анодом та катодом тиристора, наприклад, VS1 негативна, називається часом запирання:

$$t_{\text{зап}} \geq t_{\text{вим}} \quad (2.5)$$

де $t_{\text{вим}}$ – час вимикання тиристора, мс.

$$t_{\text{зап}} = 0.7 R'_H \cdot C_K \quad (2.6)$$

Якщо навантаження активне, то

де $R'_H = R_H \cdot n^2$ – опір навантаження, зведений до первинного кола трансформатора ($n = 2w_1 / w_2$), Ом.

Якщо навантаження індуктивне, то

$$T_{\text{зап}} = 4U_{\text{дж}} \cdot C_K / I_T \quad (2.7)$$

Таким чином, інвертор формує на навантаженні змінну напругу, форма якої визначається формою напруги на конденсаторі C_K і залежить від величини опору навантаження. Зі збільшенням останнього постійна часу заряду конденсатора збільшується і форма напруги на ньому наближається до трикутної. Її амплітуда при цьому збільшується (при збереженні

середнього за півперіоду значення напруги). У результаті, при холостому ході за відсутності втрат в елементах пристрою напруга на навантаженні і конденсаторі безмежно зростає (реально виникають значні перенапруги) – джерело струму намагається підтримувати величину струму незмінною. Це може призвести до виходу інвертора з ладу.

$$\tau = C_K \cdot R_H \cdot n^2 \quad (2.8)$$

Півмостовий однофазний інвертор напруги

Схема півмостового однофазного інвертора напруги зображена на рис. 2.7. Силові кола виділені на нійбільш товстими лініями.

Такого типу схеми називають півмостовими, бо половину мосту в них складають вентиля (тиристори VS1 і VS2), а другу – інші елементи (конденсатори C1 і C2).

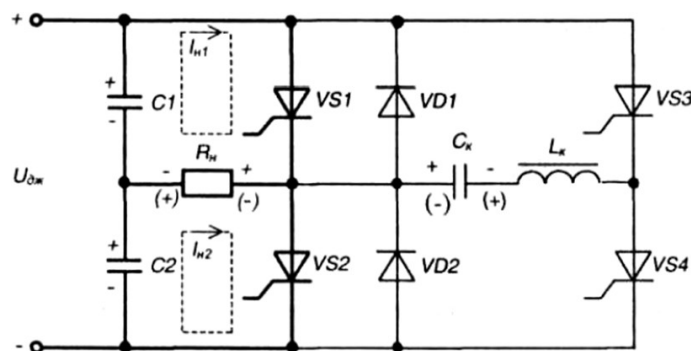


Рисунок 2.7. Півмостовий однофазний інвертор напруги

Решта елементів є елементами схеми примусової комутації. Так тиристор VS3, діод VD1 разом з комутуючими конденсатором C_K і дроселем L_K утворюють контур примусового вимикання тиристора VS1, а VS4 і VD2 разом з C_K і L_K – контур примусового вимикання тиристора VS2.

Після підключення джерела живлення і заряду конденсаторів C1 і C2 схема керування (на рисунку не показана) вмикає спочатку, наприклад, тиристор VS4. Конденсатор C_K заряджається до напруги $U_{дж}/2$ з полярністю, вказаною на рисунку без дужок по контуру (+C2, R_H , C_K , L_K ,

VS4, $-C2$). Після закінчення заряду конденсатора C_K тиристор VS4 сам вимикається, бо струм через нього знижується до нуля. Це є підготовчим етапом роботи пристрою.

Далі схема керування вмикає тиристор VS1 і на навантаженні з'являється додатна напруга (полярність вказана без дужок). По закінченні тривалості півперіоду схема керування вмикає тиристор VS3.

Відкритий тиристор VS3 і зустрічно-паралельно увімкнені тиристор VS1 та діод VD1 утворюють контур коливального перезаряду конденсатора C_K . Струм розряду C_K змінюється за синусоїдним законом, бо L_K з C_K являють собою послідовний резонансний коливальний контур:

$$I_K = I_{Km} \cdot \sin(\omega_{ot}) \quad (2.9)$$

де I_{Km} – амплітуда струму контуру, А;

$$I_{Km} = \frac{U_{дж}}{2\sqrt{L_K/C_K}} \quad (2.10)$$

Хвильовий опір контуру:

$$p = \sqrt{L_K/C_K} \quad (2.11)$$

Власна частота контуру:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}} \quad (2.12)$$

Доки $I_K < I_{H1}$, розрядний струм I_K тече через тиристор VS1 назустріч струмові I_{H1} :

$$i_{VS1} = I_{H1} - i_K \quad (2.13)$$

Як тільки виявиться, що $I_K > I_{H1}$, струм тиристора VS1 потече через діод VD1. До тиристора VS1 тепер прикладається зворотна напруга, яка дорівнює падінню напруги на VD1 (до одного вольт) і VS1

закривається. Час протікання струму через VD1 називається часом запирання $t_{ЗАП}$ тиристора VS1. Він повинен перевищувати час вимикання тиристора:

$$t_{ЗАП} > t_{ВИМ} \quad (2.14)$$

По закінченні коливального перезаряду конденсатора СК струм $i_K = 0$, а СК виявляється зарядженим до напруги $U_{дж}/2$ зі зворотною полярністю (на схемі у дужках), а тиристор VS3 сам вимикається.

Тепер схема готова до наступного циклу роботи, коли на навантаженні буде формуватись від'ємна півхвиля напруги (полярність вказана у дужках), для чого схема керування спочатку вмикає тиристор VS2, а по закінченні тривалості півхвилі – тиристор VS4 і т.д.

Тиристори VS3 і VS4, зрозуміло, мають потужність значно меншу за VS1 і VS2, бо працюють короткочасно (тільки на час запирання силових тиристорів).

Інвертор напруги формує на навантаженні напругу, а форма струму залежить від характеру навантаження.

Інвертори напруги на повністю керованих напівпровідникових приладах

Із розглянутого вище випливає, що однією з основних проблем, яку необхідно вирішувати при створенні автономних інверторів на одноопераційних тиристорах є забезпечення надійного вимикання тиристорів. Введення в схему інвертора вузлів примусової комутації істотно ускладнює алгоритм роботи пристрою, підвищує його вартість та габарити, і, що особливо важливо, знижує надійність.

Тому повністю керовані напівпровідникові прилади на великі струми, в яких використовуються біполярні транзистори з ізолюваним затвором (IGBT-транзистори), двоопераційні тиристори та ін. витісняють у пристроях перетворювальної техніки традиційні одноопераційні

тиристори. Особливо це показово у галузі створення інверторів напруги регульованої частоти, де IGBT-транзистори (що можуть працювати на частотах до 200 кГц) практично вже витіснили тиристори з їх громіздкими вузлами примусової комутації і необхідністю використання низькочастотних силових трансформаторів.

На рис. 2.8 та рис. 2.9 наведено найрозповсюдженіші схеми мостових однофазних інверторів напруги, що виконані на основі вищевказаних приладів. При цьому в якості повністю керованих силових ключів у схемі рис. 2.8 використано біполярні транзистори з ізольованим затвором VT1-VT4, а в схемі рис. 2.9 – двоопераційні тиристори VS1-VS4. Оскільки схеми працюють ідентично, розглянемо принцип їх дії на прикладі схеми з рис. 2.8.

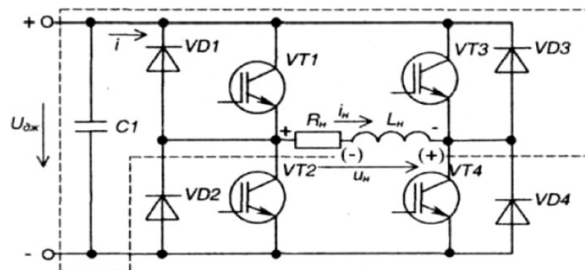


Рисунок 2.8. Однофазний мостовий інвертор напруги на IGBT-транзисторах

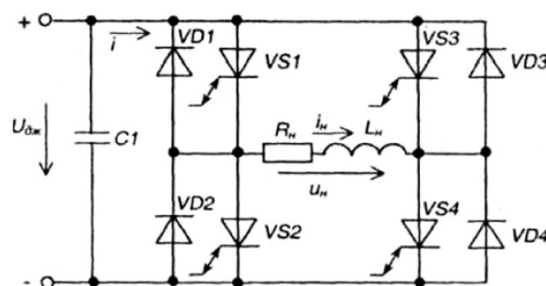


Рисунок 2.9. Однофазний мостовий інвертор напруги на двоопераційних тиристорах

При увімкнених транзисторах VT1 і VT4 та вимкнених VT2 і VT3 навантаження (R_H , L_H) підключається лівим кінцем до позитивного полюса напруги джерела живлення $U_{дж}$, а правим – до негативного і струм i_H протікає у напрямку вказаному на рисунку. Якщо VT1 і VT4 вимкнуті, а VT2 і VT3 увімкнуті, то напруга на навантаженні змінить свою полярність, а струм напрямком. При активному навантаженні ($L_H = 0$) струм

навантаження i_H повторює за формою напругу на навантаженні u_H . На рис. 2.10 штриховою лінією показано криві струму навантаження i_H та вхідного струму інвертора i' при $L_H = 0$ (зрозуміло, що струм i_H і напруга u_H мають при цьому прямокутну форму).

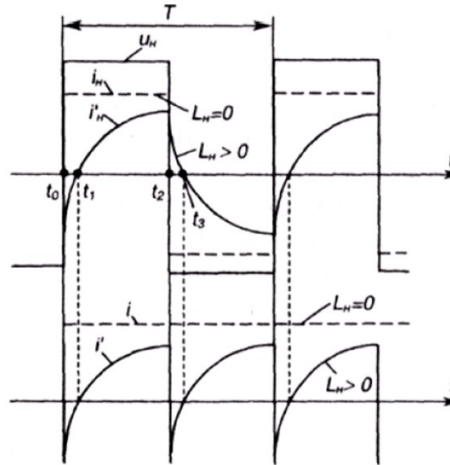


Рисунок 2.10. Часові діаграми роботи мостового інвертора

У момент часу $t = t_3$ струм навантаження i_H знижується до нуля, а при $t_0 > t_3$ починає протікати в протилежному напрямку – через транзистори VT2 і VT3, на затворах яких продовжує утримуватись вмикаюча напруга керування. Аналогічно на інтервалі часу $t_0 < t < t_1$, тобто після запирання транзисторів VT2 і VT3, струм навантаження протікає через діоди VD1 і VD4.

Вхідний струм інвертора i' , як показано на рис. 2.10, при $L_H > 0$ стає знакозмінним через періодичний енергообмін між колом навантаження і джерелом живлення: на інтервалі роботи транзисторів енергія з джерела надходить у навантаження, а на інтервалі роботи зворотних діодів енергія, накопичена в індуктивності навантаження, повертається у джерело. Наявність конденсатора великої ємності C_1 , що шунтує джерело живлення, забезпечує комутацію силових ключів при незмінній величині напруги на вході інвертора, а також зворотну провідність у джерелі, якщо у якості останнього застосовано випрямляч.

Для забезпечення регулювання величини вихідної напруги в

інверторах напруги змінюють величину напруги джерела живлення $U_{дж}$ або, як правило, змінюють форму вихідної напруги за рахунок зміщення імпульсів керування транзисторів VT3 і VT4 відносно імпульсів керування транзисторів VT1 і VT2 на кут керування α . В результаті у кривій $u_H(t)$ з'являються регульовані паузи між різнополярними імпульсами.

Порядок подачі імпульсів керування на ключі інвертора називається алгоритмом керування. Алгоритм керування і характер навантаження інвертора напруги визначають характер і тривалість роботи ключів — алгоритм перемикавання.

Застосування мікропроцесорних пристроїв у системах керування інверторами напруги дозволяє реалізувати будь-які алгоритми перемикавання, наприклад, забезпечуючи протікання в навантаженні струму практично синусоїдної форми за можливості регулювання його частоти в широкому діапазоні.

Схеми трифазних інверторів будуються за аналогічними принципами і представляють собою три однофазних інвертора (рис. 2.10), основні гармоніки вихідних напруг яких зміщені між собою на кут 120° (рис. 2.12).

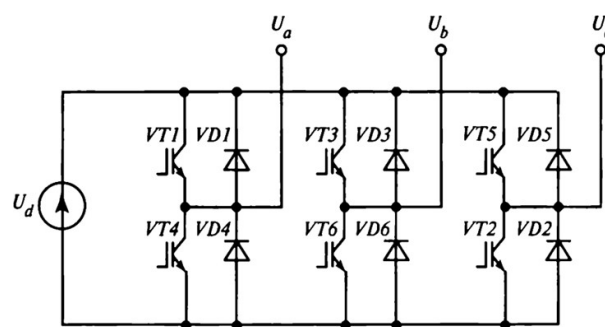


Рисунок 2.11. Трифазний мостовий інвертор напруги на IGBT-транзисторах

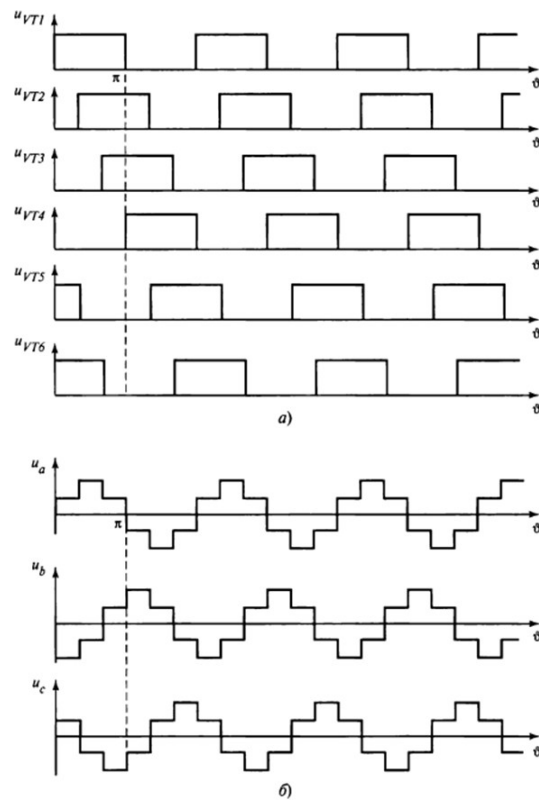


Рис. 2.12. Діаграми напруг на елементах схеми трифазного мостового інвертора напруги: а) графіки імпульсів керування; б) графіки вихідних фазних напруг

Поряд із зарубіжними виробниками електроперетворювальної техніки відомим виробником вітчизняних сертифікованих інверторів є компанія «Елім». Підприємство випускає інвертори декількох серій: ПНК, БРАС, БРАС-УТК, БИ, ИНО. Кожна з серій має свій модельний ряд в залежності від потреб споживача – побутового або промислового призначення. Наприклад, серія ПНК включає інвертори потужністю від 300 до 10000 ВА.

2.3. Трифазні інвертори напруги для живлення АД

Схема трифазного інвертора напруги представлена рис. 2.13 де ключі S_1 , S_2 ідентичні ключам в раніше розглянутих схемах однофазних інверторів. У схемі на рис. 2.13 виділено вузол 0, утворений з'єднанням конденсаторів C_1 і C_2 , щодо якого можна розглядати фазну напругу u_{a0} , u_{b0} , і u_{c0} .

IV	0	1	1	1	0	0	$-\frac{U_d}{2}$	$\frac{U_d}{2}$	$-U_d$
							$-\frac{U_d}{2}$	$\frac{U_d}{2}$	
V	0	0	1	1	1	0	$-\frac{U_d}{2}$	$-\frac{U_d}{2}$	0
							$-\frac{U_d}{2}$	$-\frac{U_d}{2}$	
VI	1	0	1	0	1	0	$\frac{U_d}{2}$	$-\frac{U_d}{2}$	U_d
							$\frac{U_d}{2}$	$-\frac{U_d}{2}$	
VII	1	1	1	0	0	0	0	0	0

У станах VII і VIII вихідна напруга дорівнює нулю. Зміна станів ключів у часі відбувається залежно від співвідношення поточних значень опорного та несучого сигналів. Розглянемо формування лінійної напруги на виході інвертора. З метою одноманітності трифазної та однофазної схем розглядатимемо лінійну напругу u_{ab} як різницю напруг фаз a і b , визначених щодо точки 0. Вибір загальної точки не має принципового значення. Наприклад, як така точка можна взяти точку з потенціалом мінусової шини постійного струму або якусь іншу. З урахуванням вибору загальної точки 0 лінійна напруга u_{ab} дорівнює різниці фазної напруги u_{ab} і т. е. $u_{ab} = u_{a0} - u_{b0}$. Напруги фаз u_{a0} і u_{b0} можуть набувати наступних значень:

- на інтервалах увімкненого стану ключа $S1$ фаза a з'єднується з шинами $+U_d$ і $u_{a0} = \frac{U_d}{2}$, а на інтервалах із включеним станом $S4$ фаза a з'єднується з шинами $-U_d$ і $u_{a0} = -\frac{U_d}{2}$;
- на інтервалах із включеним станом ключів $S3$ та $S6$ для фази b $u_{b0} = \frac{U_d}{2}$ і $u_{b0} = \frac{U_d}{2}$.

З табл. 2.1 видно, що стани ключів $S1$, $S3$ та $S5$ протилежні станам ключів $S4$, $S6$ та $S2$. Це спрощує алгоритм управління інвертором та його схемотехнічну реалізацію.

З урахуванням значень при модуляції (рис. 2.12) умови зміни станів ключів $S1$ і $S2$ на інтервалі позитивних напівхвиль напруги наступні:

$$u_{Ma}(\theta) > u_H(\theta) - S1 \text{ включений; } u_{Ma}(\theta) < u_H(\theta) - S1 \text{ вимкнений;}$$

$u_{Mb}(\theta) > u_H(\theta)$ - $S3$ включений; $u_{Mb}(\theta) < u_H(\theta)$ - $S3$ вимкнений;

На інтервалах негативних напівхвиль u_{Ma} , u_{Mb} умови зміни станів справедливі для ключів $S4$ (фаза a) та $S6$ (фаза b) (рис.2.13). При цьому позитивний напівперіод напруг u_{Ma} і u_{Mb} потенціали фаз a і b рівні $U_d/2$ при включених ключах $S1$ і $S3$ і рівні $-U_d/2$ при вимкнених ключах. На інтервалах негативних напівхвиль потенціали фаз a і b змінюються від $-U_d/2$ до $U_d/2$ залежно від стану ключів (див. табл. 2.1). Рівність нулю потенціалів фаз a і b відповідає провідності ключів інших плечей і зворотних діодів подібно до того, як це мало місце в однофазних інверторах напруги. Відповідно до табл. 2.1 амплітуда першої гармоніки лінійної напруги інвертора U_{alm1} при коефіцієнті амплітудної модуляції $0 < M_a < 1$ може бути записана у вигляді

$$U_{abm} = \sqrt{3}M_a \frac{U_d}{2} \quad (2.15)$$

При переході в режим понад модуляцію ($M_a > 1$) амплітуди перших гармонік лінійних напруг зростають (2.13) до значення

$$U_{abm1} = \frac{4\sqrt{3}U_d}{2\pi} \quad (2.16)$$

Враховуючи, що в частотному спектрі лінійних напруг відсутні гармонії кратні трьом, частоту несучого сигналу вибирають кратною трьом відносно непарних чисел ($M_f = 9, 15, 21 \dots$), округляючи при малих значеннях M_f до цілого числа.

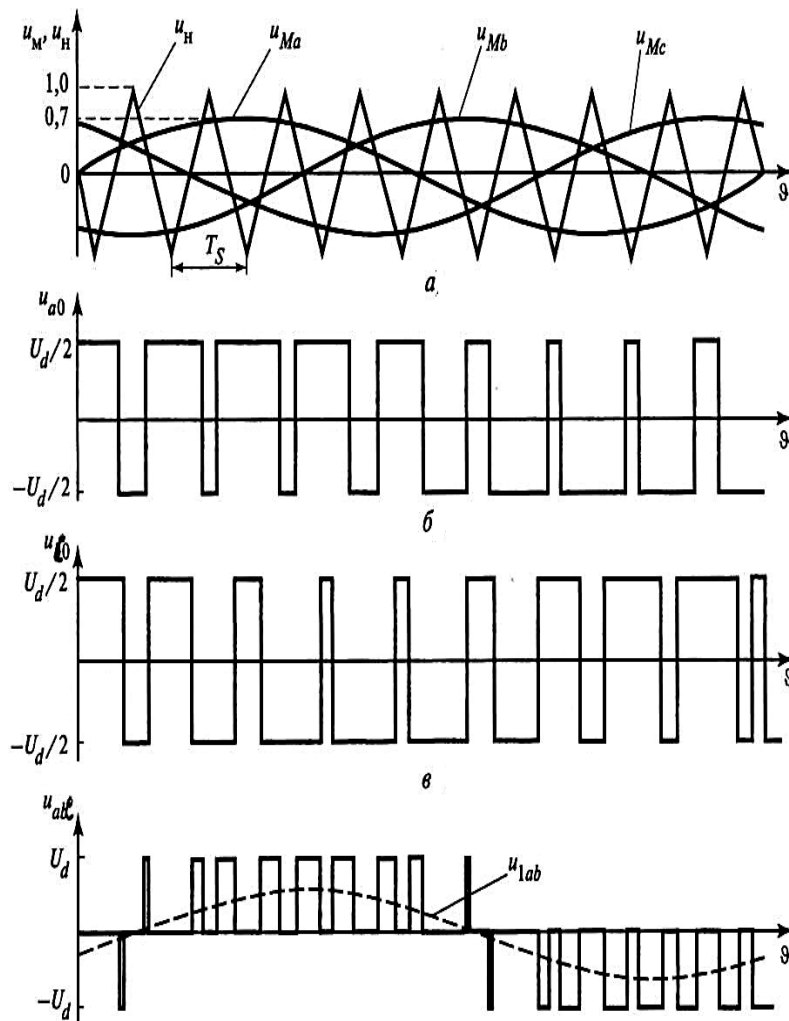


Рисунок 2.14. Діаграми синусоїдальної ШІМ у трифазному інверторі:
 а - напруга модулюючих сигналів; б - напруга фаз u_{a0} ; в - напруга фаз u_{b0} ; г - лінійна напруга u_{ab}

У трифазних інверторах, як і в однофазних, навантаження ключів струму можна оцінити за середніми значеннями струмів у них на інтервалі одного періоду. Вочевидь, що усереднені значення струмів ключів $S1—S6$ і діодів $D1—D6$ відповідатимуть відрізкам синусоїдальних струмів фаз, т. е. першим гармонікам цих струмів. При цьому слід враховувати, що на інтервалах включених станів ключів загальний струм фази при активно-індуктивному навантаженні розподіляється, наприклад, між ключем $S1$ та зворотним діодом $D1$.

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ З АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

3.1. Загальна постановка задачі дослідження

В попередніх розділах роботи розглянуто конструкція, схеми управління стрілочними електроприводами. Вказано, що використання асинхронних двигунів (АД) у стрілочних електроприводах, є більш технологічним і ефективним оскільки такі двигуни прості і надійні у порівнянні з двигунами постійного струму внаслідок відсутності рухомих контактів, а також менших розмірів, маси і вартості при аналогічній потужності. АД прості в виготовленні та експлуатації, але швидкість обертання валу та інші механічні характеристики АД складно регулювати, що суттєво обмежувало використання АД.

Особливістю стрілочних переводів, що знаходяться в експлуатації на залізницях України і у більшості залізниць світу є те, що це розімкнуті системи без можливості регулювання основних координат електроприводу. Це приводить до низки недоліків, а саме не дозволяє зменшувати час переводу стрілки. Зменшення часу переводу стрілки збільшує пусковий струм двигуна і викликає удар вістряка по рамній рейці. Також при забруднення гостряків стрілки її перевод відбувається нерівномірно, бо зусилля на валу не регулюється. Неправильне регулювання стрілки приводить до пружності вістряка.

Приклади таких та інших дефектів і несправностей стрілочних приводів і переводів наведено в літературі. Часові діаграми струму переводу стрілок при цих несправностях, отримані в роботах В.В. Маловічко, приведені на рис. 3.1-3.3.

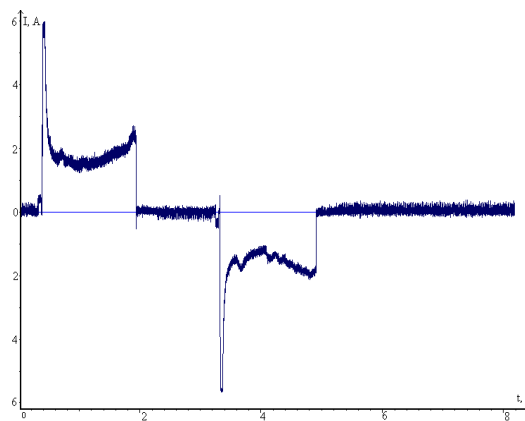


Рисунок 3.1. Крива часової залежності струму при переводі стрілки в плюсове та мінусове положення при забрудненні вістряків.

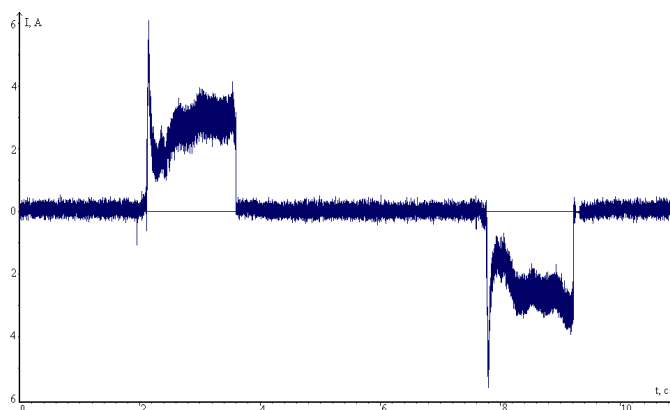


Рисунок 3.2. Криві часової залежності струму при переводі стрілки з сильно забрудненими башмаками.

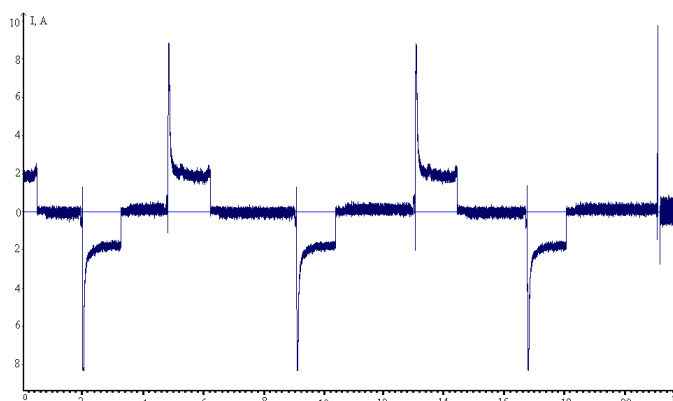


Рисунок.3.3. Група кривих часової залежності струму з пружинністю вістряка при переводі стрілки в плюсове положення.

Регулювання механічних характеристик електроприводу з використанням зворотного зв'язку і контролем швидкості обертання валу, струму переводу стрілки дозволяє покращити механічні характеристики стрілочного переводу, зменшити час переводу та усунути удар стрілки в кінці переводу. Таким чином, існує доцільність розробки систем регулювання швидкості та позиціонування гостряків для існуючих стрілочних переводів.

Нижче розглянуто основні методи регулювання механічних характеристик асинхронного електроприводу.

3.2. Методи регулювання механічних характеристик асинхронного електроприводу

Основний метод регулювання швидкості обертання валу є зміна частоти живлячої напруги. Також швидкість змінюється внаслідок зміни ковзання. Але щоб уникнути значних втрат енергії, тобто. перегріву ротора, в короткозамкненому асинхронному двигуні, необхідно щоб двигун працював в тривалому режимі з мінімальними значеннями ковзання. Рис. 3.4 пояснює можливі способи регулювання швидкості обертання валу асинхронного двигуна.



Рисунок 3.4. Можливі способи регулювання швидкості обертання валу асинхронного двигуна.

Частотне регулювання швидкості АД є найбільш реальним, але його широке використання стало можливим тільки з появою потужних силових напівпровідникових ключів.

Синхронна швидкість n_o (в об/хв) - швидкість обертання поля визначається формулою

$$n_o = \frac{60f}{P},$$

Ковзання визначається формулою

$$s = \frac{n_o - n}{n_o}.$$

Відповідно з цих формул отримаємо формулу для швидкості обертання валу АД (в об/хв)

$$n = \frac{60f}{P}(1 - s)$$

В даний час відомі наступні закони частотного керування асинхронним короткозамкненим двигуном:

- скалярне керування;
- векторне управління (FOC);
- пряме керування моментом (DTC).

Для реалізації векторної системи управління або системи управління з DTC необхідний датчик швидкості, що вбудовується в двигун, або спостерігач координат на основі математичної моделі електродвигуна з використанням точних параметрів схеми заміщення.

3.3. Скалярня керування асинхронним електроприводом

Асинхронний електропривод із частотним скалярним керуванням є найпростішим. Він застосовується для приводу насосів, вентиляторів, компресорів, конвеєрів та інших найпростіших виробничих механізмів.

За незалежний вплив приймається частота, яка визначає швидкість обертання двигуна, а значення напруги при даній частоті визначає потік

двигуна і, зрештою, вид механічної характеристики, значення пускового та критичного моментів двигуна.

Скалярне управління забезпечує сталість перевантажувальної здатності приводу при зміні частоти тільки в області її великих значень, при малих частотах істотно зменшуються пусковий та максимальний момент. Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання двигуна за постійного значення моменту опору для приводів зі скалярним керуванням досягає 1:10.

При ідентичності параметрів і початкових умов дводвигуновий електропривод може бути замінений еквівалентним однодвигунним приводом для аналізу процесів, що виникають при змінах впливів керуючих або під дією збурень у нерозгалуженій частині електромеханічної схеми. У цих умовах послідовне з'єднання двигунів забезпечує високу рівномірність розподілу навантажень як у перехідних, так і в режимах роботи, що встановилися.

Закони частотного управління

Важливе місце в використанні асинхронних двигунів займає частотне регулювання швидкості. Відповідно до формули, синхронна швидкість або швидкість обертального магнітного поля статора (ω_0) прямо пропорційно залежить від частоти мережі живлення (f):

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p},$$

де p - кількість пар полюсів електричної машини.

Отже, якщо змінювати частоту мережі, то згідно вище наведеного виразу, швидкість магнітного поля, а відповідно, і швидкість обертання ротора двигуна будуть змінюватися. Але, виникає одна проблема, зі зміною частоти, змінює значення і моменту критичного ($M_{кр}$), отже, іншу величину знаходить перевантажувальна здатність асинхронного двигуна.

Якщо при постійній напрузі зменшити частоту, то магнітний потік збільшиться, що викличе насичення сталі, і як наслідок, різке збільшення струму:

$$E = K \cdot \Phi \cdot f,$$

Таке регулювання (тільки частотою) дасть нам такий вигляд механічних характеристик АД:

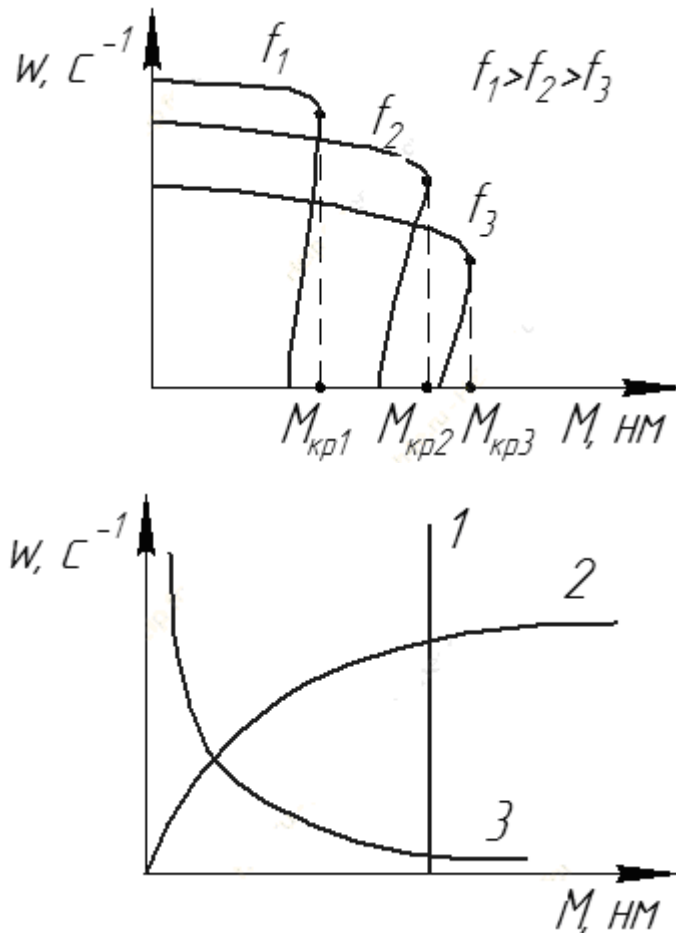


Рисунок 3.5 – Механічні характеристики асинхронного двигуна

Для забезпечення сталості перевантажувальної здатності АД, одночасно з частотою f , необхідно регулювати і напругу U . Частотне регулювання, а саме скалярне управління дозволяє зробити плавне регулювання швидкості електродвигуна. Для цього потрібно в залежності від характеру навантаження змінювати два канали: частоту і напругу.

В електроприводах розрізняють три основних види навантаження:

1. Момент опору не залежить від частоти обертання (підйомні механізми);
2. Нелінійне збільшення M_c (вентилятор, відцентровий насос, центрифуга);
3. Зменшення нелінійне M_c (механізми верстатів різання, моталки).

Закон сталості моментів застосовується при незмінному навантаженні під час всього технологічного процесу:

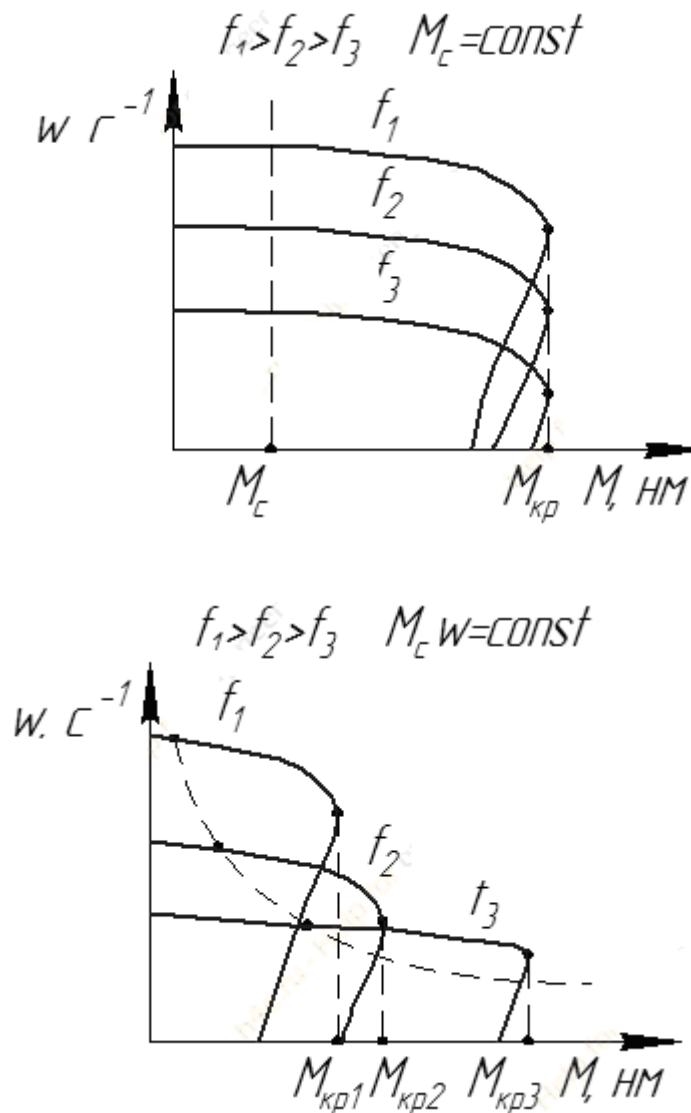


Рисунок 3.6 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при постійному навантаженні на валу

Підтримка постійної потужності характеризується залежністю

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = \text{const}$$

А для «вентиляторного» типу навантаження частотне регулювання виробляють згідно із законом:

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}$$

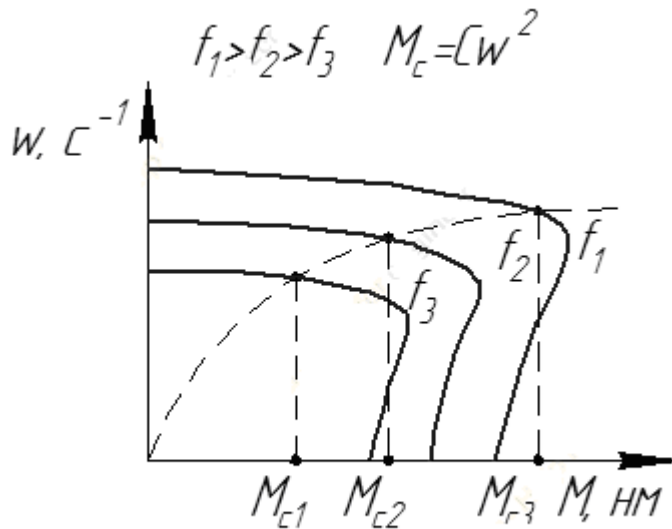


Рисунок 3.7 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при «вентиляторному» типу навантаження на валу

При всіх вищевказаних законах частотного регулювання відбувається дотримання умови $\frac{M_{кр}}{M_c} = \text{const}$, тобто збереження перевантажувальної здатності.

3.4. Аналіз і вибір схеми частотного керування асинхронним приводом

Найбільш простою схемою частотного керування асинхронним приводом є схема без зворонного зв'язку по швидкості (рис. 3.5).

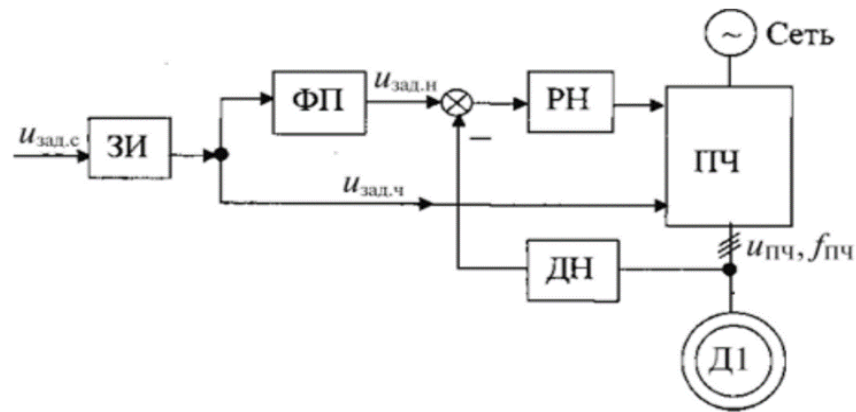


Рисунок 3.8 - Функціональна схема системи асинхронного електроприводу з частотно-параметричним регулюванням: $u_{\text{зад.с}}$ - сигнал завдання швидкості; $u_{\text{зад.н}}$ - сигнал завдання напруги; $u_{\text{зад.ч}}$ - сигнал завдання частоти; ДН - датчик напруги; $u_{\text{пч}}, f_{\text{пч}}$ - напруга та частота на виході перетворювача

Більш досконалою є схема керування асинхронним приводом із зворотними зв'язками за швидкістю обертання валу двигуна і контролем струму в двигуні (рис. 3.6.).

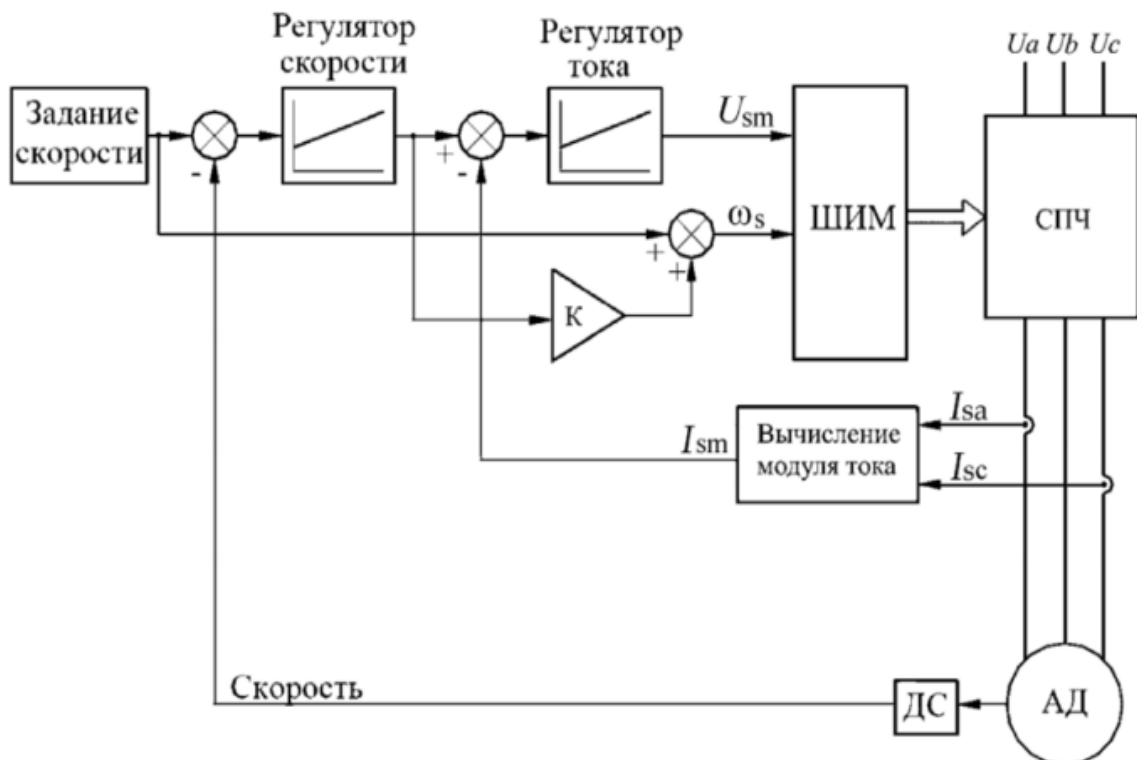


Рисунок 3.9 - Схема електроприводу зі скалярним керуванням та зворотними зв'язками за швидкістю та струмом

Але ця схема потребує використання датчика швидкості, що значно ускладнює та збільшує ціну пристрою керування.

Для невеликих змін швидкості регулювання валу двигуна можна використовувати схему без контролю швидкості (рис. 3.6).

3.5. Вибір схеми частотного керування асинхронним приводом

Структурна схема частотних перетворювачів зі ланкою постійного струму наведена на рис. 3.7. Змінна напруга випрямляється і інвертується у трифазну змінну напругу з регульованою частотою за допомогою схеми керування, що реалізує певний алгоритм управління асинхронним двигуном. Робота схеми пояснюється рис. 3.7.

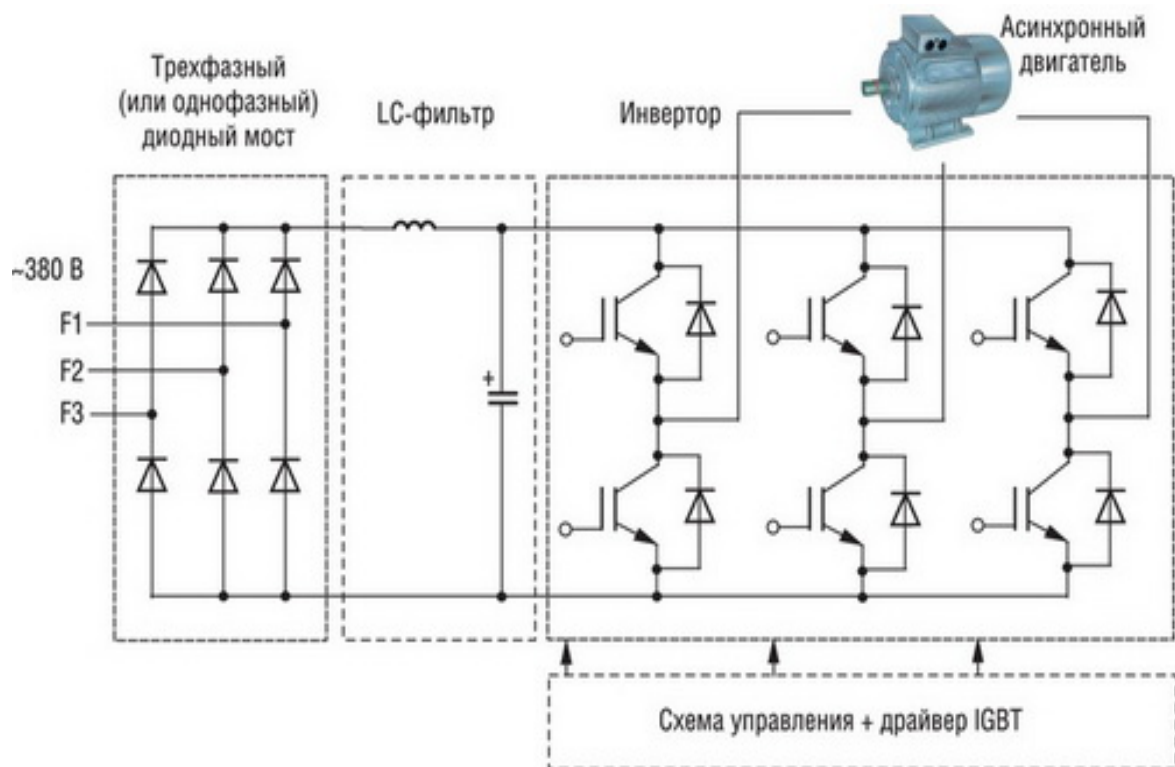


Рисунок 3.10. Структурна схема частотних перетворювачів з ланкою постійного струму

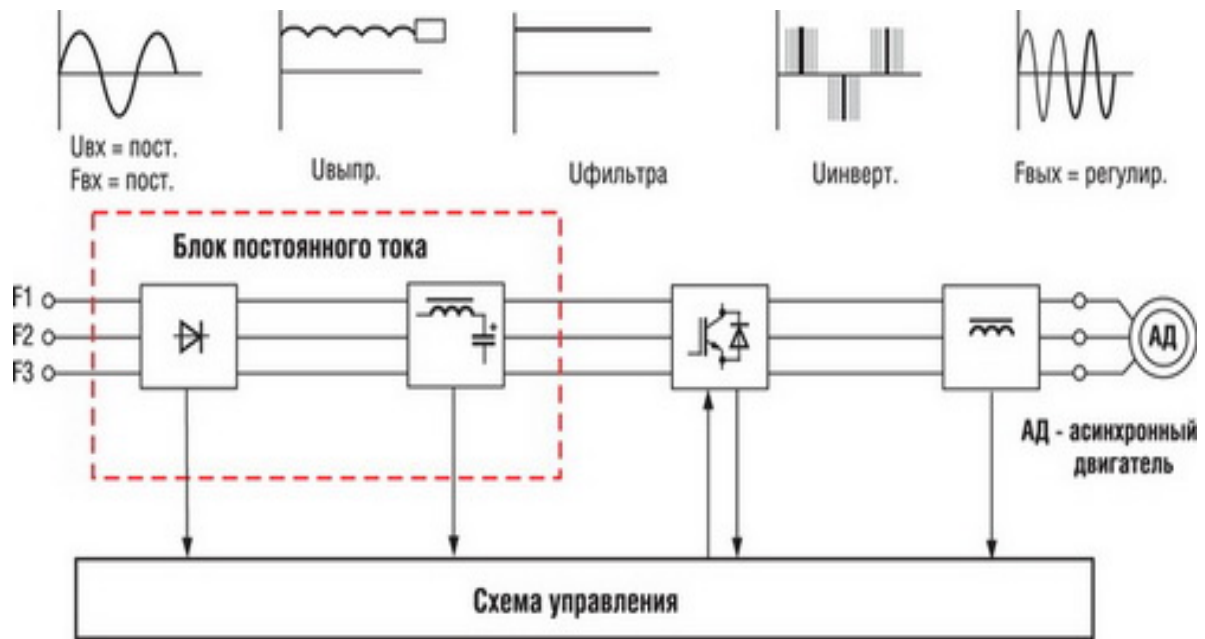


Рисунок 3.11. Структурна схема, що пояснює роботу частотного перетворювача

Очевидно, що керований асинхронний стрілочний привод можна використовувати на заміну приводам постійного струму на ділянках з живленням постійним струмом.

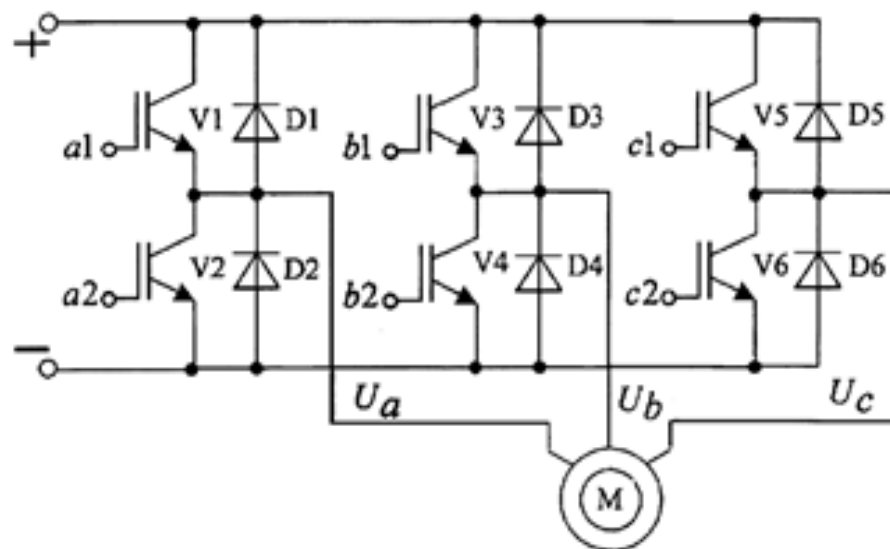


Рисунок 3.12. Схема частотного перетворювача з живленням від постійного струму

Частотне управління реалізується за рахунок широтно-імпульсної модуляції.

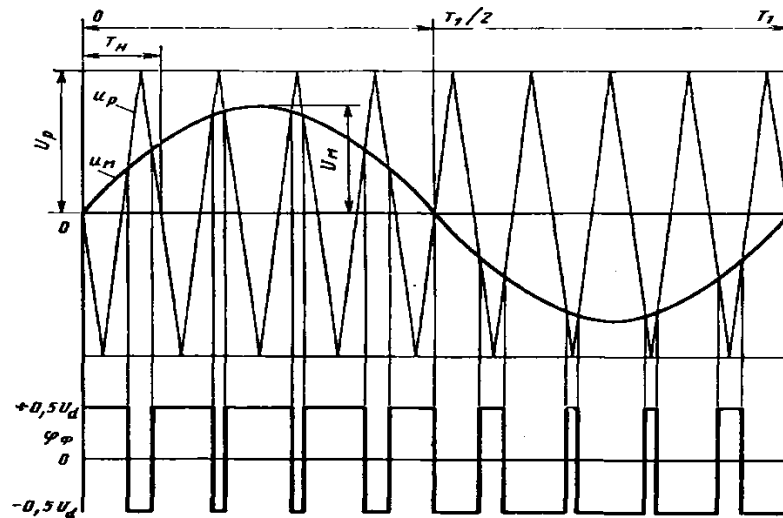


Рисунок 3.13. Принцип реалізації синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції.

3.6. Дослідження частотного керування асинхронним приводом стрілочного переводу

Дослідження частотного керування асинхронним приводом стрілочного переводу було проведено шляхом моделювання в середовищі Matlab/Simulink. Розроблена модель приведена на пис. 3.14.

Живлення асинхронного двигуна від 3-фазного інвертора з ШІМ

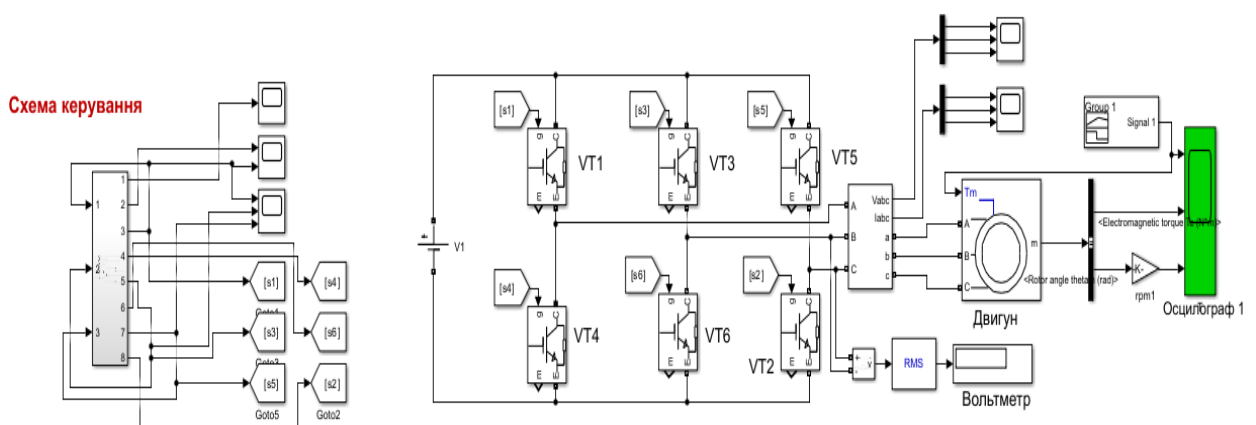


Рисунок 3.14. Принцип реалізації синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції.

Модель складається з трифазного інвертора на IGBT транзисторах і схеми керування, що реалізує широтно-імпульсне регулювання.

3.7 Результати дослідження

Результати моделювання наведено на рис. 3.15-3.22.

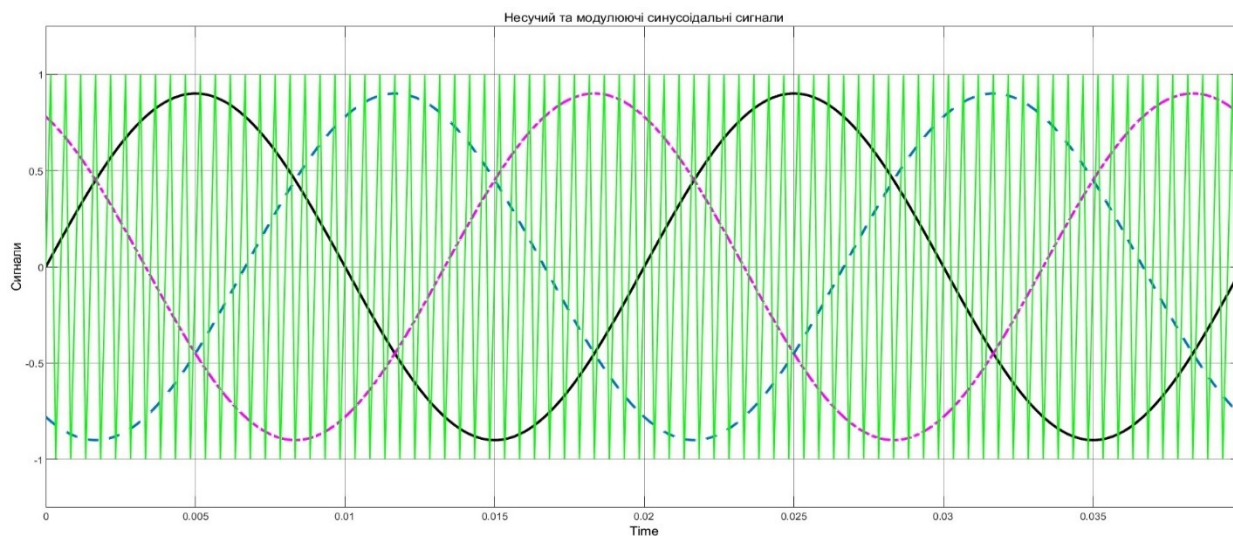


Рисунок 3.15 – Часові залежності струму пристрою управління з ШІМ для трьох фаз

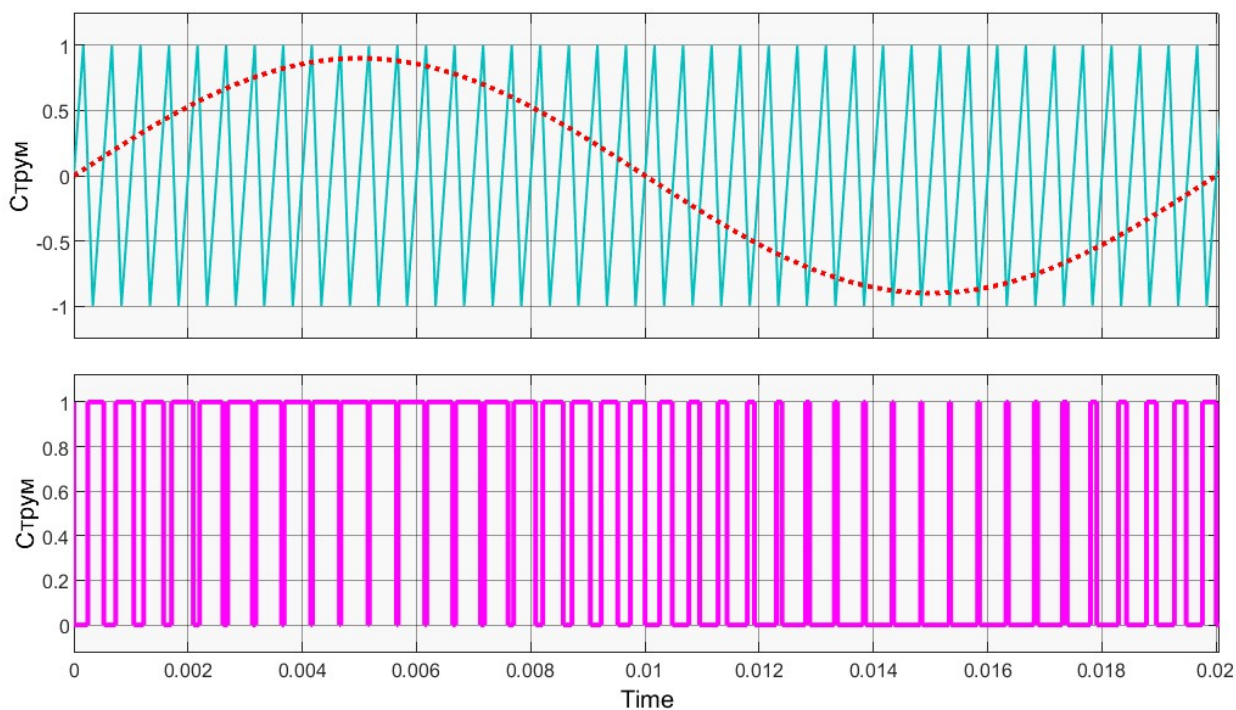


Рисунок 3.16 – Часові залежності струму пристрою управління з ШІМ для однієї фази

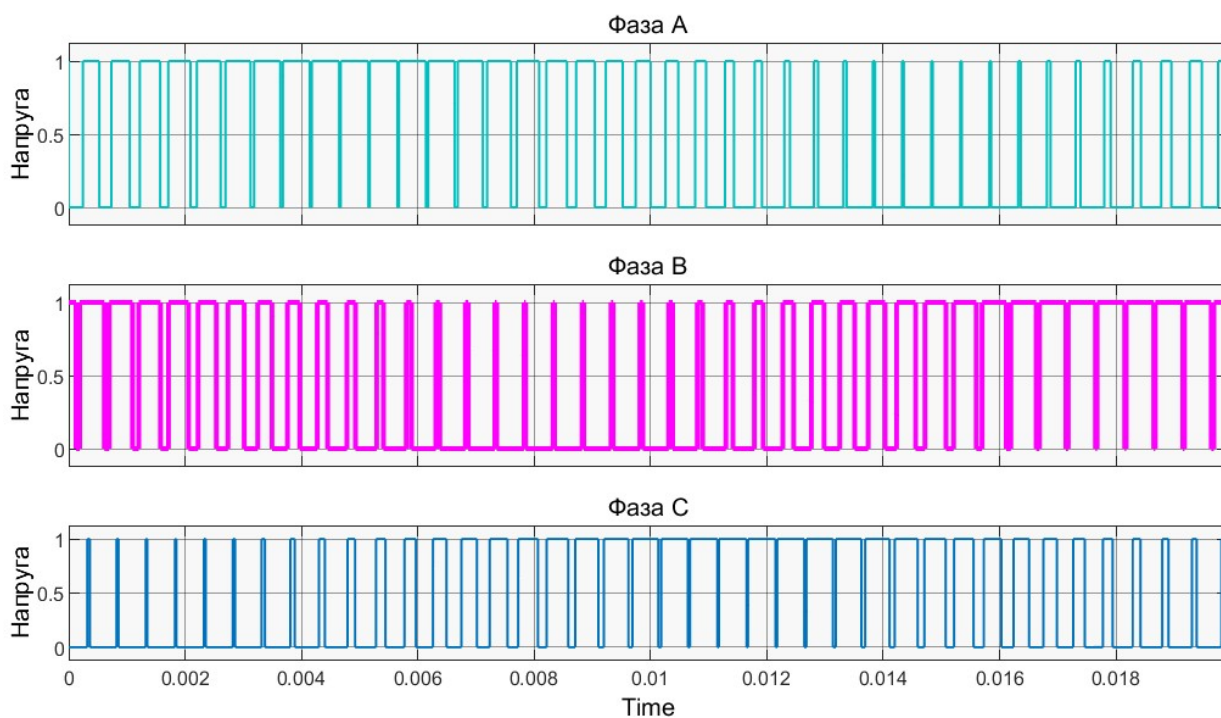


Рисунок 3.17 – ШІМ напруга трьох фаз інвертора

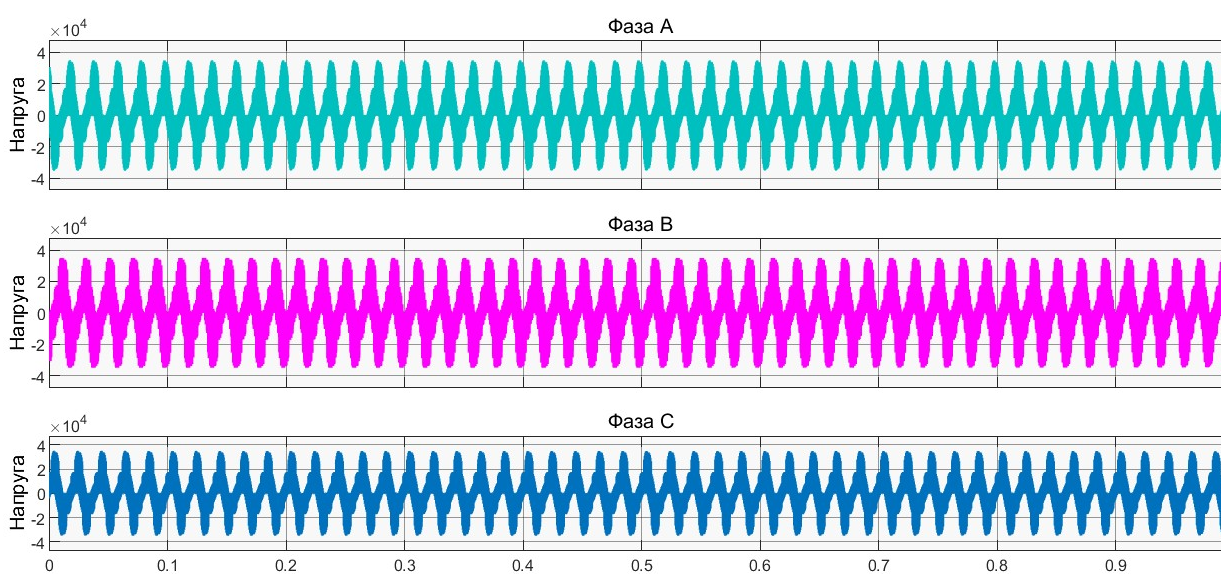
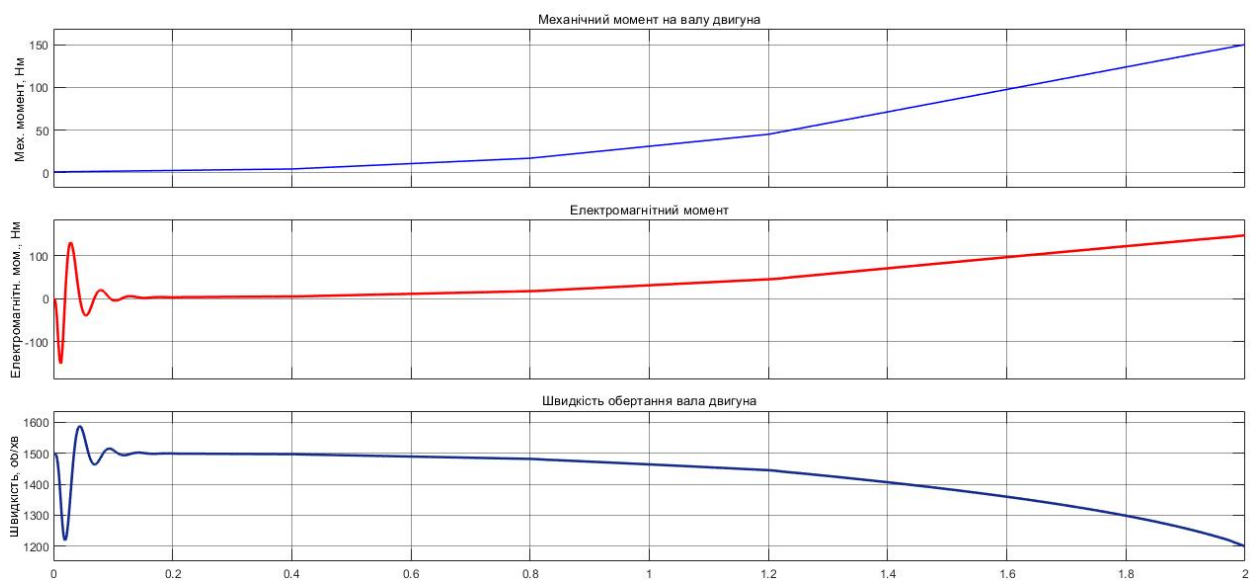
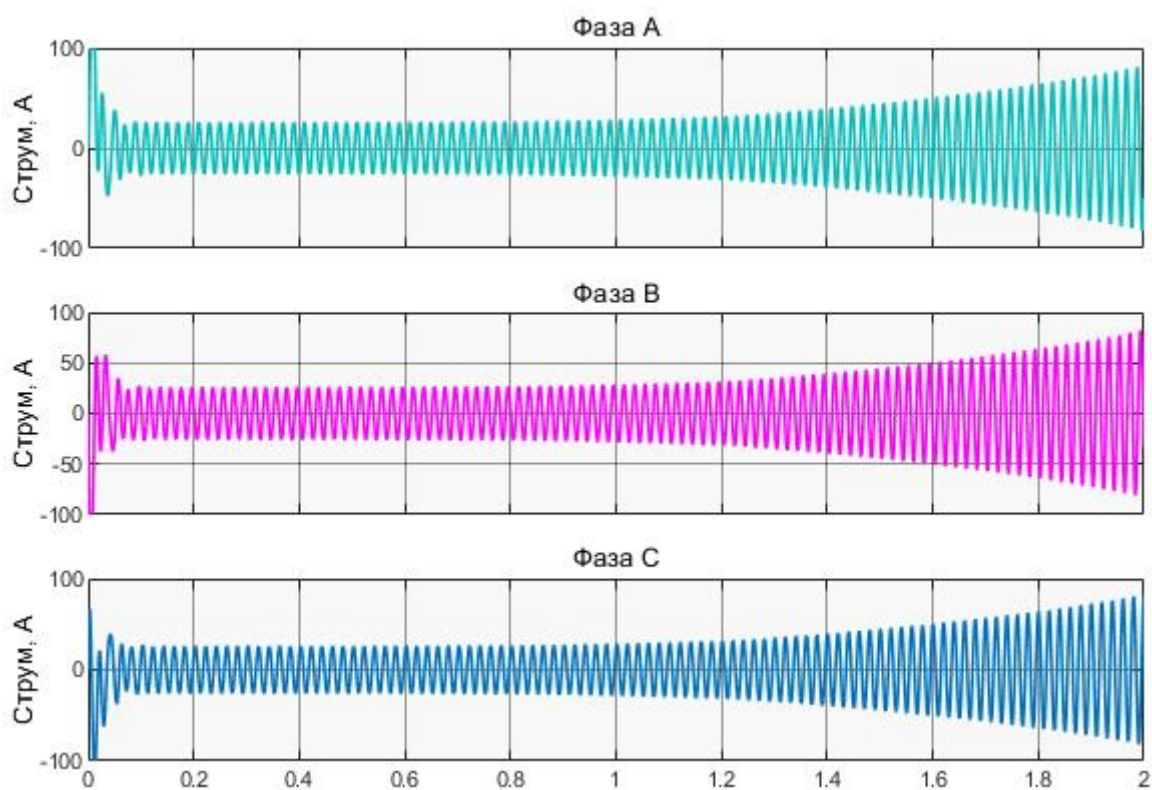


Рисунок 3.18 –Трьохфазний струм в обмотках АД



(a)



(b)

Рисунок 3.19 –Приклад зміни швидкості обертання вала двигуна (a) і фазового струму в обмотках АД

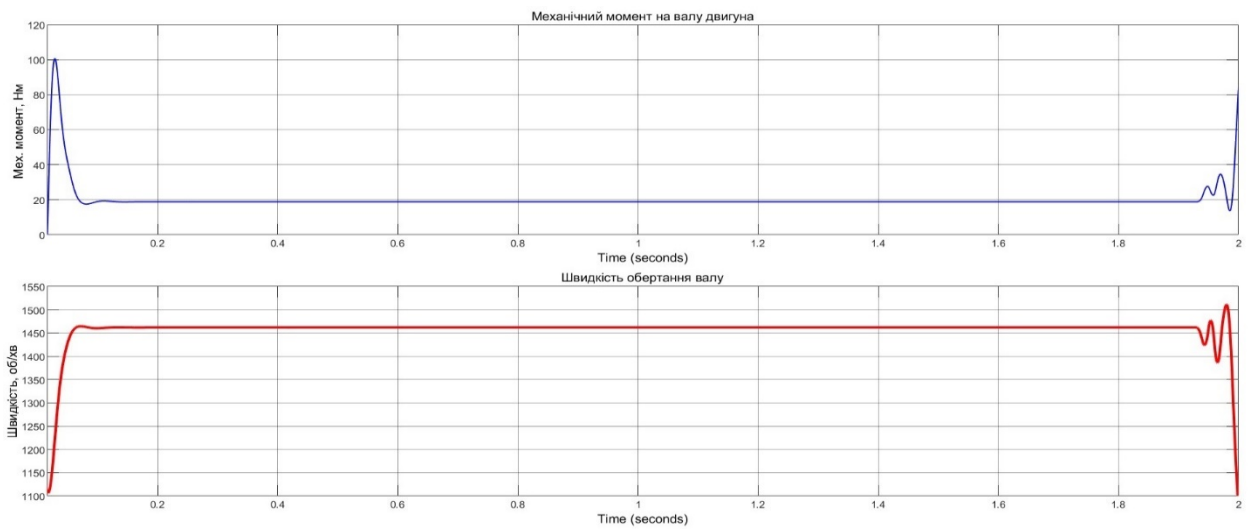


Рисунок 3.20 –Приклад механічного моменту і зміни швидкості обертання валу двигуна із застосуванням схеми управління електроприводом.

Проведено дослідження керованого електроприводу стрілочного переводу зі скалярним керуванням з використанням трифазного інвертора і схеми управління з ШІМ.

Шляхом моделювання показано, що при використанні напруги з поступово збільшуючої частотою при включенні електроприводу можна суттєво зменшити пусковий струм електроприводу, а зменшуючи частоту в кінці переводу можна усунути надмірний удар і відскок вістряка стрілки від рамної рейки в кінці переводу (рис. 3.21, 3.22).

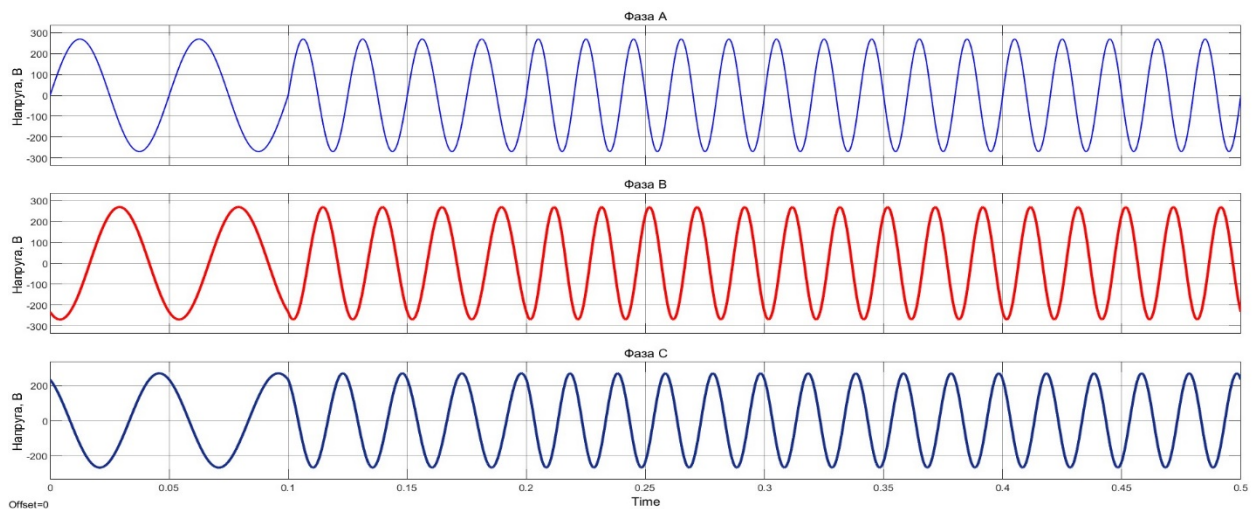


Рисунок 3.21 –Приклад поступового збільшення частоти струму схеми управління електроприводом.

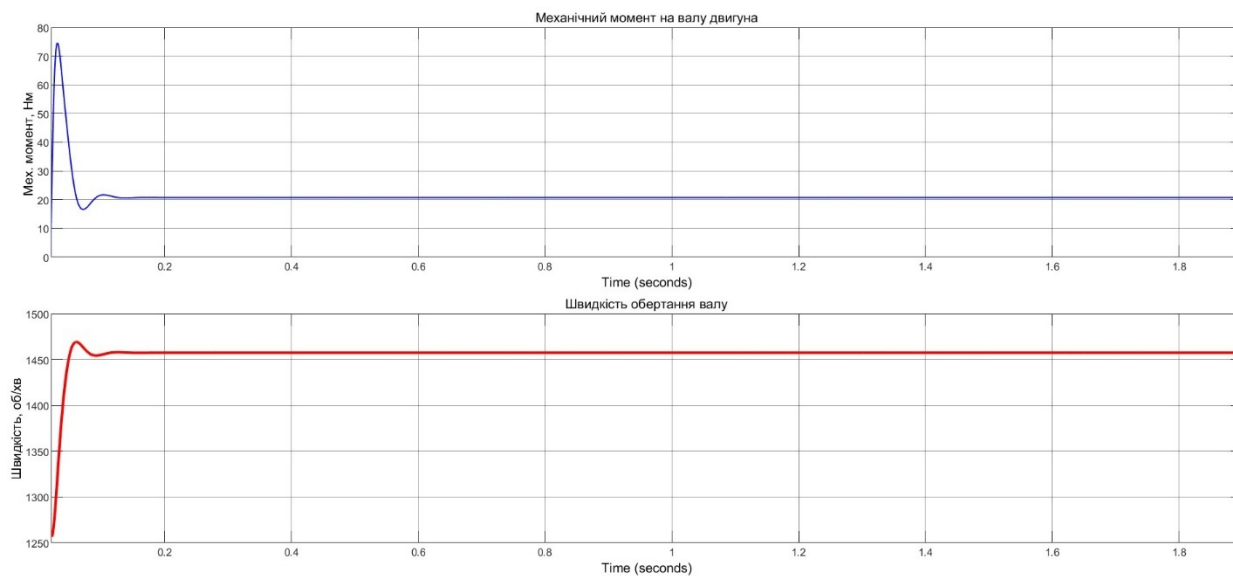


Рисунок 3.22 –Приклад механічного моменту і зміни швидкості обертання валу двигуна із застосуванням схеми управління електроприводом з поступовим збільшенням частоти струму.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Використання асинхронних двигунів (АД) у стрілочних електроприводах, є більш технологічним і ефективним оскільки такі двигуни прості і надійні у порівнянні з двигунами постійного струму внаслідок відсутності рухомих контактів, а також менших розмірів, маси і вартості при аналогічній потужності. Але швидкість обертання валу та інші механічні характеристики АД складно регулювати, що суттєво обмежувало використання АД.
2. Особливістю стрілочних переводів, що знаходяться в експлуатації на залізницях України і у більшості залізниць світу є те, що це розімкнуті системи без можливості регулювання основних координат електроприводу. Це приводить до низки недоліків, а саме не дозволяє зменшувати час переводу стрілки. Зменшення часу переводу стрілки збільшує пусковий струм двигуна і викликає удар вістряка по рамній рейці. Також при забруднення гостряків стрілки її перевод відбувається нерівномірно, бо зусилля на валу не регулюється. Неправильне регулювання стрілки приводить до пружності вістряка.
3. Регулювання механічних характеристик електроприводу з використанням зворотного зв'язку і контролем швидкості обертання валу, струму переводу стрілки дозволяє покращити механічні характеристики стрілочного переводу, зменшити час переводу та усунути удар стрілки в кінці переводу. Таким чином, існує доцільність розробки систем регулювання швидкості та позиціонування гостряків для існуючих стрілочних переводів.
4. Розглянуто основні методи регулювання механічних характеристик асинхронного електроприводу.
5. Частотне регулювання швидкості АД є найбільш реальним, але його широке використання стало можливим тільки з появою потужних силових напівпровідникових ключів.
6. Вибрано скалярне керування асинхронним електроприводом, як

найпростіше.

7. Проведено аналіз і вибір схеми частотного керування асинхронним приводом.
8. Проведено дослідження керованого електроприводу стрілочного переводу зі скалярним керуванням з використанням трифазного інвертора і схеми управління з ШІМ.
9. Шляхом моделювання показано, що при використанні напруги з поступово збільшуючої частотою при включенні електроприводу можна суттєво зменшити пусковий струм електроприводу, а зменшуючи частоту в кінці переводу можна усунути надмірний удар і відскок вістряка стрілки від рамної рейки в кінці переводу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бабаев М.М., Богатырь Ю.И. Повышение эффективности работы стрелочных электроприводов. Моделирование процессов управления бесконтактными управляемыми двигателями стрелочных электроприводов // Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 122. – С. 51–55.
2. Буряковский С.Г., Смирнов В.В. Регулируемый стрелочный электропривод // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотивинформ». – Харьков: «Подвижной состав»,
– Вип. 7, 2010. – С. 8–9.
3. Буряковский С.Г., Моисеенко В.И., Смирнов В.В. Перспективные системы управления железнодорожной автоматики // «Електроінформ».
– Львів: Екоінформ, 2009. – С. 205–206.
4. Маловічко В. В. Підвищення експлуатаційної надійності колійних пристроїв електричної централізації / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 15. – С. 11-15.
5. Маловічко В. В. Визначення діагностичних ознак для автоматизованого контролю технічного стану стрілочного електродвигуна / В.В.Маловічко, В. І. Гаврилюк, В. Я. Кізяков // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 9-12.
6. Маловічко В. В. Автоматизований контроль основних параметрів стрілочного електропривода / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 5-7.
7. Маловічко В. В. Діагностування стрілочних переводів по кривим споживання струму в умовах експлуатації на станції / В.В. Маловічко //

- Збірник наукових праць. Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – 2007. – Вип. 11. – С. 60-69.
8. Маловічко В. В. Автоматизований контроль технічного стану стрілочних електродвигунів постійного струму по кривим споживання струму. / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: Вид-во Української державної академії залізничного транспорту, 2007. – Вип. 5, 6. – С. 18-21.
 9. Маловічко В. В. Діагностування стану стрілочних переводів по споживанню струму електродвигунами безпосередньо в умовах поїзної роботи. / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: Вид-во Української державної академії залізничного транспорту, 2008, – № 1. – С. 30-34.
 10. Маловічко В. В. Використання системи контролю стану стрілочних двигунів по кривій споживання струму в ремонтно-технологічних дільницях. / Маловічко В.В., Гаврилюк В.І., Решетняк М.І. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 18. – С. 11-15.
 11. Маловічко В.В. Автоматизація обробки інформації в системах контролю та діагностування стану стрілочних переводів. / Маловічко В. В., Гаврилюк В. І., Рибалка Р. В. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: Вид-во Української державної академії залізничного транспорту, 2009. – Вип. 2. – С. 29-33.
 12. Маловічко В. В. Застосування нейромережних технологій для діагностування стрілочних переводів з двигунами постійного струму. / Гаврилюк В. І., Дуб В.Ю., Маловічко В. В. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – С. 209-213.
 13. Пат. 31735 Україна МПК В61L 7/00. Спосіб дистанційного контролю та

- діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму /Маловічко В. В., Гаврилюк В. І.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 29. 10. 2007; опубліковано 25. 04. 2008, Бюл. №8.
14. Пат. 50826 Україна МПК В61L 7/00. Спосіб автоматизованого контролю та діагностування стрілочних переводів. /Маловічко В. В., Гаврилюк В. І., Рибалка Р. В.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 22.12.2009; Опубліковано 25.06.2010, Бюл. №12.
15. Маловичко В.В., Кизяков В. Я. Анализ отказов напольных устройств электрической централизацией. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези 65 Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. – 2005. – С. 317.
16. Маловичко В. В., Гаврилюк В. И. Диагностирование стрелочных переводов с двигателями постоянного тока. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези LXVI Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. – 2006. – С. 313.
17. Маловічко В.В., Гаврилюк В.І., Кізяков В.Я., Визначення діагностичних ознак для автоматизованого контролю технічного стану стрілочних електродвигунів. // Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті»(ЕМС-R 2007): Тези I Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. – 2007. – С. 59-60.
18. Маловічко В.В. Підвищення експлуатаційної надійності колійних пристроїв електричної централізації. // Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті»(ЕМС-R 2007): Тези I Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. – 2007. – С. 71.
19. Маловічко В.В., Гаврилюк В.І. Автоматизований контроль основних параметрів стрілочного електроприводу. // Електромагнітна сумісність

- на залізничному транспорті»(ЕМС-R 2007): Тези I Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. – 2007. – С. 72.
- 20.Маловічко В.В. Діагностування стрілочних переводів. // Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: Тези I Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. – 2007. – С. 73.
- 21.Маловічко В.В. Анализ отказов napольных устройств электрической централизации. // Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: Тези I Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. – 2007. – С. 96-97.
- 22.Маловічко В.В., Гаврилюк В.І., Рибалка Р.В. Визначення способів автоматичної обробки інформації в системі контролю та діагностування стрілочних переводів. // Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи: Тези Міжнародної науково-практичної конференції. – Д.: ДІТ. – 2008. – С.84-85.
- 23.Маловічко В.В., Гаврилюк В.І., Рибалка Р. В. Автоматизація обробки інформації в системі контролю стану стрілочних приводів. // Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті»(ЕМС-R 2009): Тези II Міжнародної науково-практичної конференції. –Д.: ДІТ. V. I. Havryliuk, O. M. Voznyak, V. V. Meleshko. Improving the positioning accuracy of train on the approach section to the railway crossing // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 1 (61) Р. 9-18.
- 24.В. И. Гаврилюк // Нормы и методы испытания подвижного состава на электромагнитную совместимость с системами сигнализации и связи // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. 2016. № 12. 10 с.
25. В. Гаврилюк. Международные нормы на электромагнитную совместимость подвижного состава с системами сигнализации и связи // Українська залізниця, №5–6 (47–48), 2017 С. 46-50.

- 26.V. Havryliuk. Modelling of the Return Traction Current Harmonics Distribution in Rails for AC Electric Railway System //2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE). – IEEE, 2018. – P. 251-254.
- 27.V. Havryliuk. Wavelet Based Detection of Signal Disturbances in Cab Signalling System //2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE. – IEEE, 2019. – P. 94-99.
- 28.V. Havryliuk. Audio Frequency Track Circuits Monitoring Based on Wavelet Transform and Artificial Neural Network Classifier //2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2019. – P. 491-496.
- 29.V. Havryliuk. The Wavelet Based Detecting of the Signalling Relay Armature Defects //2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2019. – P. 507-512.
- 30.V. Havryliuk, "Modelling of the Distribution of Return Traction Current Harmonics in Electrically Asymmetric Rails," 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE, Rome, Italy, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/EMCEUROPE48519.2020.9245767.
- 31.V. Havryliuk, "Detecting of Signal Distortions in Cab Signalling System Using ANFIS and WPESE," 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Istanbul, Turkey, 2020, pp. 231-236, doi: 10.1109/IEPS51250.2020.9263165.
- 32.V. Havryliuk, "ANFIS Based Detecting of Signal Disturbances in Audio Frequency Track Circuits," 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/SAIC51296.2020.9239127.
- 33.Havryliuk V. Determining a Train Location at Level Crossing Approach Section by Track Circuit Input Impedance Processing Using ANN //IEEE EUROCON 2021-19th International Conference on Smart Technologies. – IEEE, 2021. – C. 554-559.

- 34.V. Havryliuk, "Model of Propagation of Traction Current Harmonics from Trains to a Track Circuit Receiver." 2021 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC). IEEE, pp. 1-4, 2021.
- 35.V. Havryliuk, "Mathematical Model of the Induced AC Interference in DC Rails of a Double-Track System" 2021 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC). IEEE, pp. 1-4, 2022.
- 36.V. Havryliuk. Wavelet Based Detection of Signal Disturbances in Cab Signalling System //2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE. – IEEE, 2019. – P. 94-99 (DOI: 10.1109/EMCEurope.2019.8872114).
- 37.V. Havryliuk. Modelling of the Distribution of Return Traction Current Harmonics in Electrically Asymmetric Rails // 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE, Rome, Italy, 2020. pp. 1-6. (DOI: 10.1109/EMCEUROPE48519.2020.9245767).
- 38.V. Havryliuk. Model of Propagation of Traction Current Harmonics from Trains to a Track Circuit Receiver// 2021 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility -APEMC, IEEE, 2021. pp. 1-4. (DOI: 10.1109/APEMC49932.2021.9597152). – 2009. – C.15.

