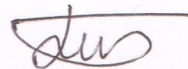


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

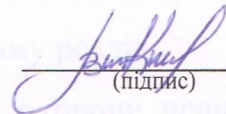
зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Модернізація електропривода суднової РЛС

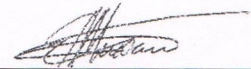
Виконав: студент групи 6372м

Козак Віктор Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

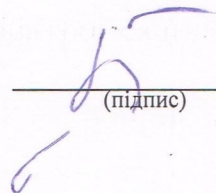
Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доц. Надточій А.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

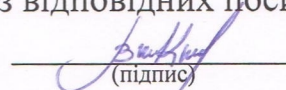
Рецензент доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент Ставинський Р.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 123с., 6 р., 25 рис., 10 табл., 1 дод., 21 джерел.

Ключові слова: комплектний електропривод, суднова РЛС, асинхронний електропривод, скалярна система керування, векторна система керування, перехідна характеристика, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – робочі процеси, які протікають в електроприводі суднової РЛС.

Мета роботи – на основі сучасних методик провести аналіз і синтез системи керування електроприводом суднової РЛС з технічними даними РЛС типа «Миус».

Перший розділ присвячений аналізу експлуатаційно-технічних характеристики РЛС і згідно цього зроблена постановка задачі дослідження. У другому розділі описані математичні моделі для розрахунку параметрів електроприводів. У третьому розділі наведено синтез електропривода. Розрахунок надійності електропривода здійснено у четвертому розділі.

У п'ятому та шостому розділах розглянути питання з охорони праці та довкілля.

Додатки містять слайди мультимедійної презентації.

ANNOTATION

Qualification work: 123 p., 6 chapters, 25 figures, 10 tables, 1 appendix, 21 sources.

Keywords: complete electric drive, shipboard radar, asynchronous electric drive, scalar control system, vector control system, transient response, control quality indicators.

The object of study is the work processes that take place in the electric drive of a ship's radar.

The purpose of the study is to analyze and synthesize the control system of the ship's radar electric drive with the technical data of the Mius-type radar on the basis of modern methods.

The first section is devoted to the analysis of the operational and technical characteristics of the radar and, accordingly, the research problem is formulated. The second section describes mathematical models for calculating the parameters of electric drives. The third section presents the synthesis of the electric drive. The reliability of the electric drive is calculated in Section 4.

The fifth and sixth chapters deal with labor and environmental protection issues. The appendices contain slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
1.1 Призначення та експлуатаційно-технічні характеристики РЛС.....	8
1.2 Постановка задачі.....	12
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	14
2.1 Коротка технологія, механічне устаткування.....	14
2.2 Розрахунок і вибір потужності двигуна.....	17
2.3 Вибір основного силового устаткування.....	19
2.4 Вибір САР, статичний розрахунок САР.....	24
2.5 Вибір релейної схеми.....	29
2.6 Розрахунок і вибір апаратури управління та захисту.....	31
2.7 Розрахунок і вибір живлячих ліній.....	35
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	37
3.1 Формування структурної і функціональної схем.....	37
3.2 Алгоритм синтезу системи керування.....	45
3.2 Синтез параметрів регулювальників.....	62
3.4 Результати моделювання.....	74
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	80
4.1 Обґрунтування необхідності проведення дослідження стійкості	80
4.2. Оцінка стійкості роботи автоматизованого електропривода РЛС.....	81
4.2.1 Характеристика об'єкту дослідження.....	81
4.2.2 Порядок і методика оцінки стійкості об'єкту.....	82
4.2.3 Якісна оцінка надійності.....	91
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	94
5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, впливаючи на екіпаж судна.....	95
5.2 Розрахунок освітлення машинного відділення на судні з РЛС.....	99

5.3 Розробка заходів для забезпечення безпеки на судні.....	100
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	102
6.1 Основна частина.....	103
6.2 Джерела й масштаби викидів РЛС.....	111
6.3 Заходи щодо зменшення забруднення морського середовища нафтопродуктами.....	115
6.4 Заходи щодо зниження шумового, вібраційного й радіаційного забруднень.....	117
ВИСНОВКИ.....	121
ЛІТЕРАТУРА.....	122

ВСТУП

Актуальність проблеми. У зв'язку зі зростанням тоннажу, збільшенням швидкостей, розмірів і інерційності сучасних суден істотно підвищуються вимоги до безпеки мореплавання. Важливого значення набувають радіонавігаційні прилади, які використовуються на судах морського і рибпромислового флотів, що дозволяють зменшити число аварій, які завдають великого матеріального збитку, а в окремих випадках створюють реальну загрозу збереженню навколишнього середовища.

Суднова навігаційна РЛС типа «Миус» призначена для установки на судах реєстровою місткістю від 300 рег.т і більше [6,7].

Сучасний етап розвитку зарубіжної та вітчизняної морської навігаційної техніки характеризується появою на судах світового морського флоту значної кількості зразків навігаційної техніки нового покоління, які мають поліпшені навігаційні та експлуатаційні характеристики.

Разом з тим, багато суден морського флоту значною мірою все ще оснащені навігаційною технікою попередніх поколінь.

Таким чином, як на закордонних судах, так і на судах вітчизняного морського флоту (у трохи меншому ступені) склалася наступна ситуація: одночасно знаходять застосування численні зразки навігаційної техніки й попереднього і нового поколінь. Вони часто відрізняються принципами дії, закладеними в їх конструкцію, і радикально розрізняються за використовуваної елементної бази, а так само по точносних й експлуатаційних характеристиках.

Слід згадати і характерну особливість, що існує на флоті: ситуація полягає в досить широкому участю українських фахівців (зокрема судноводіїв) в роботі на закордонних судах, які мають на постачанні зарубіжну навігаційну техніку.

Мета і завдання дослідження. На основі сучасних методик провести аналіз і синтез системи керування електроприводом суднової РЛС з технічними даними РЛС типа «Миус».

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз систем керування електроприводу суднової РЛС з метою удосконалення.
2. Розрахувати і вибрати елементи системи керування електропривода.
3. Провести синтез системи керування автоматизованим електроприводам суднової РЛС.
4. Розрахувати надійність модернізованого устаткування.

Об'єкт дослідження — робочі процеси, які протікають в електроприводі суднової РЛС.

Предмет дослідження — показники якості системи керування електроприводом суднової РЛС.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Отримані аналітичні вирази, які дозволяють моделювати різні типи регуляторів.
2. Виявлені закономірності впливу регуляторів на зміни частотних характеристик електроприводу.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Рекомендації про підвищення надійності електропривода суднової РЛС.
2. Схеми моделювання перехідних процесів у електроприводі суднової РЛС.

Апробація результатів роботи. Основні результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на XV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», у доповіді «Лабораторний стенд електроприводу» (м.Миколаїв, 2024 р.).

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, 6 розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 123 сторінках і містить 10 таблиці та 25 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Призначення та експлуатаційно-технічні характеристики РЛС

Суднова навігаційна РЛС типу «Міус» призначена для встановлення на судах реєстрової місткості від 300 рег. т та більше. До складу станції входять наступні прилади: А - антенно-хвильовідвідний пристрій, П – прийомопередатчик, І – індикатор, Р – ретранслятор, В – мережевий випрямляч, С – мережевий перетворювач.

В залежності від роду напруги бортової мережі прилади Р і С мають наступні відмінності: для мережі постійної напруги ПО та 220 В – Р(= 110, 220 В), С(= 110 В) та С (= 220 В); для мережі однофазного змінного струму напругою 220 В, 400 Гц – Р(~220 В, 400 Гц), С(~220 В, 400 Гц); для мережі трьохфазного змінного струму напругою 220/380 В 50 Гц – Р(~3Х220/380 В, 50 Гц). Прилад В застосовується для бортової мережі трьохфазного змінного струму напругою 220/380 В, 50 Гц.

Окрім перерахованих приладів комплект станції складається з: монтажного комплекту хвильовідвідного тракту, каліброваного кабелю затримки, комплекту ЗИПа, мережевого комутатора, пакетного вимикача ГПВМЗ-25. Експлуатаційно-технічні характеристики (параметри) станції наведені нижче:

Довжина хвилі, см	3,2
Імпульсна потужність передатчика, кВт	7
Імпульсна чутливість приймача, дБ	120
Шкали дальності, милі	0,4, 0,4Р, 0,8;
Інтервали між кільцями дальності, милі	0,4/0,2, 0,8/0,2, 1,6/0,4, 4/1, 8/2, 16/4, 24/4

Тривалість зондируючих імпульсів, мкс, на шкалах дальності, милі:

0,4, 0,8, 1,6, 4	0,1
8, 16, 24	0,3
Частота слідування (повторення) імпульсів, имп./с, на шкалах дальності, милі:	
0,4, 0,8, 1,6, 4	3000
8, 16, 24	2000
Полоса пропускання приймача, МГц, при тривалості імпульсів:	
0,1	12
0,3	4
Проміжна чистота, МГц	60
Ширина діаграми направленості антени на рівні 0,5, град :	
в горизонтальній площині	1,1
в вертикальній площині	20
Інтенсивність придушення бокових лепестків, дБ, не гірше .	25
Частота обертання (обзору) антени, об/мин	17±2
Максимальна похибка визначення відстані до об'єктів за допомогою рухомого кільця (візира) дальності, не більш, на шкалах:	
0,4, 0,8, 1,6 мили, м	65
4,8, 16 и 24 мили, % від шкали дальності	2,5
Среднеквадратична помилка вимірювання напрямку (азимута), град, не більш	1
.....	
Дозволяюча здатність за напрямком на шкалі 1,6 милі, град, не гірше	1,2
Дозволяюча здатність за відстанню, м	25
Мінімальна дальність виявлення при висоті антенни 15м и довжині хвилевідвідного тракту 10м, м	30
Максимальна дальність виявлення об'єктів , милі:	
судна водотоннажність 3000 т	10
середнього морського буя без відбивача висотою 3,2 м	1,8
Максимальна похибка передачі курсових кутів антени на систему розгортки індикатора, град, не більш	1
Діаметр екрану ЕПТ, мм	180
Споживаюча потужність, кВт, не більш	0,7
Час готовності станції після вмикання, хв.	4
Надійність роботи на одне відмовлення, год.....	300

Склад блоків приладів РЛС «Міус» зображений на рис. 1.1.

Блок П1 в приладі П є модулятором, він виробляє модулюючі імпульси напруги тривалістю 0,1 та 0,3 мкс, амплітудою 6 кВ для керування роботою магнетронного генератора.

Блок П2 понад високої частоти (ПВЧ) складається з антенного перемикача, змішувачів прийому (проміжної частоти) та автоматичної підстроювання частоти (АПЧ), клістирного гетеродину типу К-94 та інших елементів, необхідних для передачі, прийому та перетворювання відбитих сигналів в коливаннях проміжної частоти 60 МГц.

Блок П3 АПЧ забезпечує постійність проміжної частоти 60 МГц приймача при відхиленні від мінімального значення частоти магнетрона чи клістрона.

Блок П5 – випрямляч напруги +27 чи ± 110 В.

Блок П6 складається з двох випрямляча на напругу – 300 В та схеми захисту.

Блок П7 складається з двох випрямлячів, +350 та 50 В.

Блок П8 складається з випрямлячів -40, - 12,6 В та стабілізатора напруги.

Блок П9 складається з випрямляча напруги -100/-150 В, реле перемикання напруги та схеми захисту.

Блок П10 являє собою аналізатор працездатності схеми РЛС.

Блок ПИ є блоком контролю.

Блок И1 прибору И є Блоком розвертки дальності ЕПТ індикатора.

Блок И2 формує нерухомі мітки дальності (НКД).

Блок И3 – відеосмеситель.

Блок И4 – високовольтний випрямляч напруги +14 кВ для живлення аноду ЕПТ індикатора.

Блок И5 складається з елементів, необхідних для виміру дальності (візир дальності) та направлений (механічний візир напрямку), механізму шкал, схеми контролю енергетичної характеристики станції та іншого.

Блок И6 формує візир чи кільце дальності (ПКД).

Блок ЕПТ складається з електронно-променевої трубки типу 18ЛМ58, яка відхиляє систему, фокусує систему, центровки розвернення електронного проміння, схеми відмітки курсу.

ПУ – пульт (панель) оперативного керування РЛС.

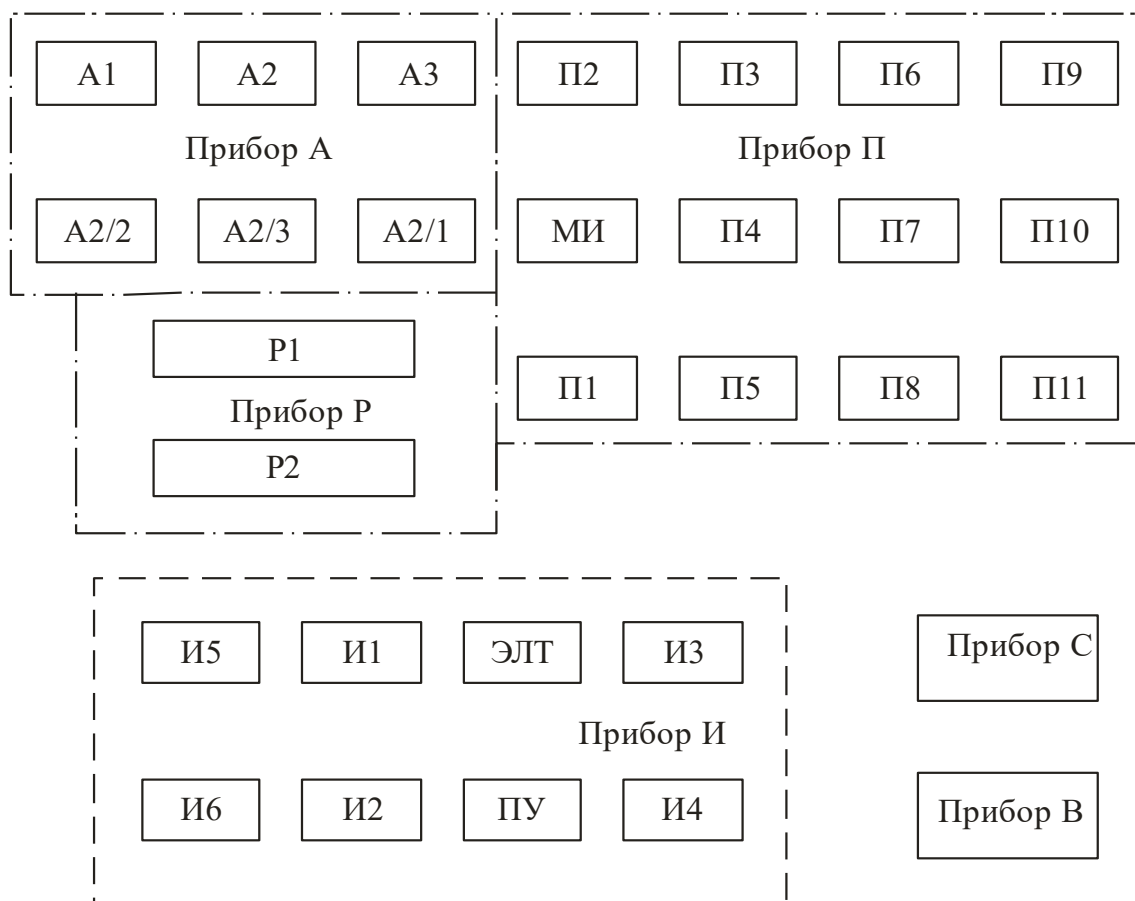


Рисунок 1.1– Склад блоків приладів СПРЛС «Міус».

Прилад С перетворює постійну напругу бортмережі чи вихідну напругу приладу В в змінну однофазну стабілізовану напругу 220 В, 400 Гц в приладі С, ця напруга стабілізується та фільтрується.

Прилад В складається з випрямляча – 200 В, схеми захисту, схеми контролю, фільтра індустриальних перешкод та схеми вмикання РЛС.

Блок P1 приладу Р – ретранслятор курсового кута чи пеленга.

Блок P2 виконує функцію посилювача сигналів розладу.

Блок А1 приладу А є антеною.

Блок А2 – привід обертання антени. До складу А2 входять наступні субблоки: А2/1 – редуктор; А2/2 – ПВХ-перехід, що обертається; А2/3 – пристрій дистанційної передачі напрямків.

Блок А3 – контрольна антена.

1.2 Постановка задачі

Електроприводи антен суднових РЛС однакові за кінематичними схемами з високою точністю регулювання при різних типах електродвигунів які залежать від роду бортової напруги. Доцільно було б застосування у всіх випадках асинхронні двигуни з коротко замкнутим ротором [8]. Швидкий розвиток сучасних уніфікованих (комплектних) електроприводів, таких наприклад, як Lenze, Siemens дозволяє здійснити цю мету [2,8]. Отже впливає наступна постановка задачі:

- застосування у мережах постійного струму автономних інверторів комплектних електроприводів, що дозволяє використовувати асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором;
- використання векторного керування цих електроприводів з метою поліпшити показники якості керування та енергозбереження.

Вирішення цих задач дозволить уніфікувати електричні схеми автоматизованих електроприводів РЛС.

Електропривод постійного струму має відмінні регульовальні характеристики. При лінеаризації кривої намагнічування, швидкість двигуна пропорційна напрузі, що додається до якоря двигуна, момент пропорційний струму двигуна і потоку. Перераховані координати електроприводу знаходяться відповідними датчиками струму та напруги. Внаслідок перерахованих особливостей, двигуни постійного струму знайшли широке застосування на виробництві та в гірничій промисловості.

Електропривод змінного струму володіє більшою конструктивною надійністю, простотою пристрою і низькою ціною в порівнянні з електроприводом постійного струму. Низька ціна та висока надійність робить електропривод змінного струму незаперечним конкурентом електроприводу постійного струму. У системах управління і автоматизації, застосування електроприводу змінного струму пов'язане з певними труднощами. З точки зору автоматичного управління, двигуном змінного струму досить складно керувати і вимірювати його координати. Наприклад, швидкість валу залежить, як від частоти мережі живлення, так і від навантаження на валу, що веде до ускладнення системи управління.

При розробці проектів на базі електроприводу змінного струму, виникає необхідність у забезпеченні високих динамічних показників в перехідних режимах, в підтримці певної швидкості обертання ротора, а так само енергетичних показників. Для отримання високих динамічних показників, високої точності, підтримки швидкості застосовують векторну систему управління електроприводом.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК І ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1 Коротка технологія, механічне устаткування

До складу електроприводу обертання антени входять наступні блоки: редуктор, НВЧ перехід що обертається, пристрій дистанційної передачі напрямків. Антена обертається двигуном, тип якого залежить від роду бортової напруги. При живленні постійною напругою 110 В використовується електродвигун типу СЛ-661. При постійній напрузі 220 В застосовується електродвигун типу СЛ-661/Р. Для бортової мережі змінного трифазного струму 220/380 В, 50 Гц використовується асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором типу АПН-11/2 (з'єднання фазних обмоток, відповідно, «трикутник» або «зірка»). При бортової мережі зі змінною напругою 220 В, 400 Гц встановлюється електродвигун типу СЛ-661 з живленням від випрямляча. Обертаючий перехід застосовується для з'єднання антени, що обертається, з нерухомою хвилевідною лінією. Для узгодження нерухомої частини переходу та частини переходу, що обертається, застосовується плунжер налаштування. Кінематична схема показана на Рис. 2.1. Дистанційна передача кутового положення антени здійснюється за допомогою обертаючого трансформатора типу 5БВТ, пов'язаного зубчастою передачею з валом антени, який є датчиком системи що стежить з ціною обороту 360°. Для перевірки точності системи що стежить, та юстування антени встановлюється знімний шкальний механізм з ціною поділки обороту шкали 10° і ціною поділки 0,1°.

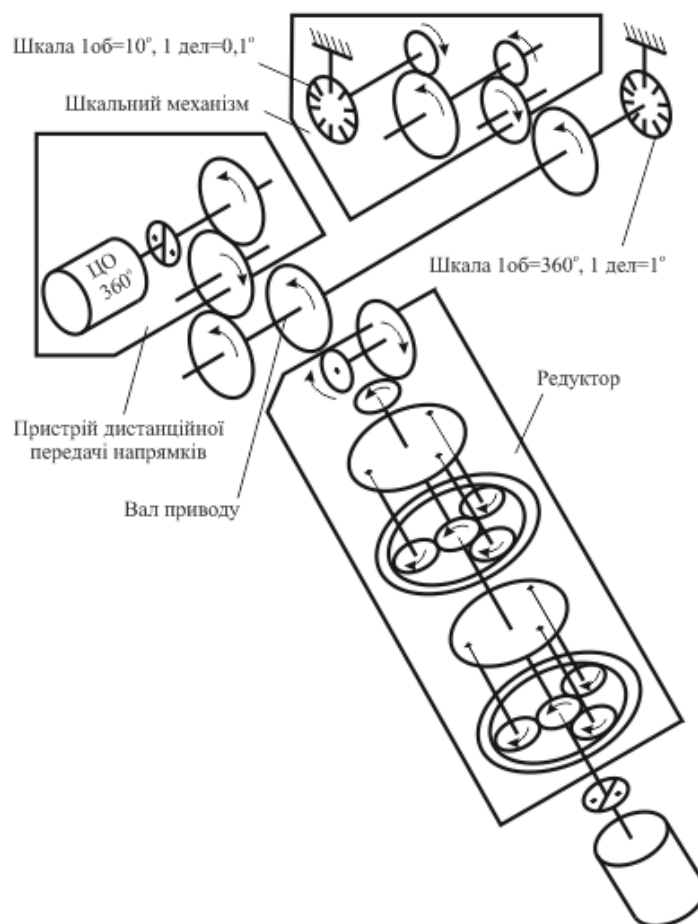


Рисунок 2.1– Кінематична схема

Для формування відмітки курсу на валу антени встановлено спеціальний контактний пристрій у вигляді контактної барабанчика з двома щітками, який замикається один раз за оберт антени і включає схему, яка формує позначку курсу.

На рис. 2.2 наведена тахограма роботи приводу

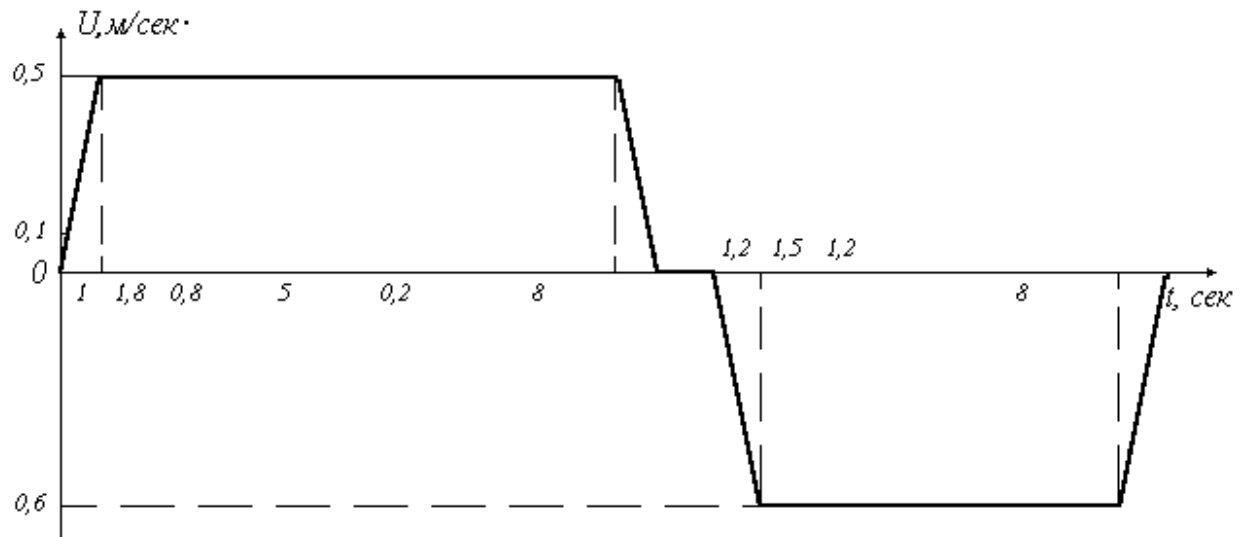


Рисунок 2.2– Тахограма роботи приводу

На рис. 2.3 наведена навантажувальна діаграма роботи приводу.

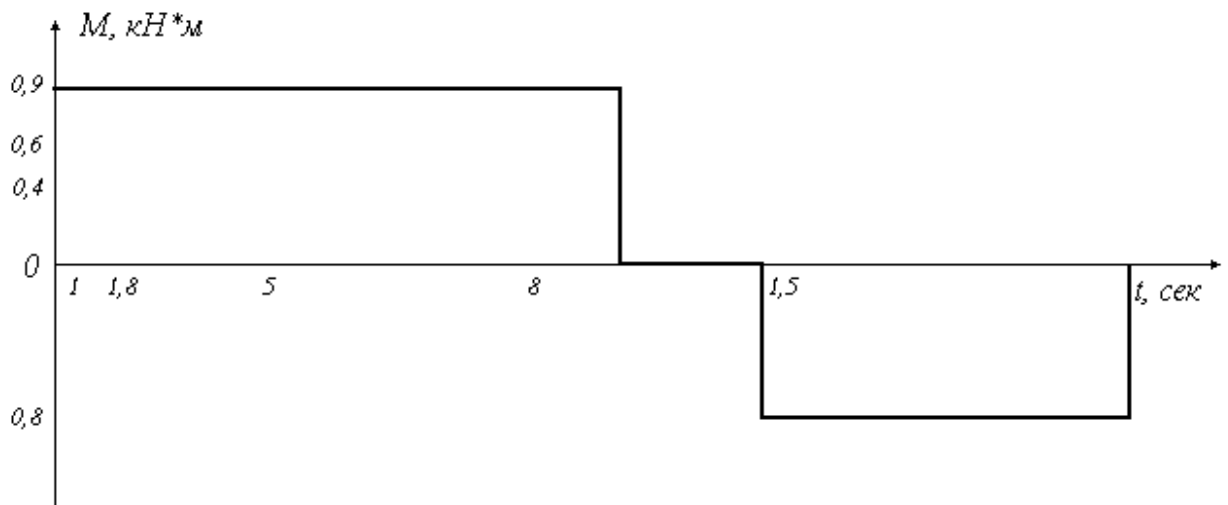


Рисунок 2.3– Навантажувальна діаграма роботи приводу

$M_{\max} = 0,9$ кНм, $U_{\max} = 0,6$ м / с, $U_{\text{ср}} = 0,5$ м/с, $U_{\min} = 0,1$ м/с, темп розгону однаковий $= 0,5$ м/с².

2.2 Розрахунок і вибір потужності двигуна

Визначаємо еквівалентний момент двигуна, M_e

$$M_e = \sqrt{\frac{M_n^2(t_{n1} + t_{n2}) + M_m^2(t_{m1} + t_{m2} + t_{m3}) + M_{y3}^2 t + M_{y1,2}^2(t_{y1} + t_{y2})}{t_{y1} + t_{y2} + t_{y3} + b(t_{n1} + t_{n2} + t_{m1} + t_{m2} + t_{m3})}}$$

де $\beta = 0,7$ - коефіцієнт, що враховує погіршення умов охолодження під час перехідних процесів [2]

M_n - пускові моменти

M_m - гальмівні моменти

M_y - моменти сталих режимів

Всі значення моментів беруться із завдання.

t_n - час пусків

t_m - час гальмівних режимів

t_y - час сталих режимів

$$M_e = \sqrt{\frac{0,9^2(1+1,2) + 0,8^2(0,8+0,2+1,2) + 0,6^2 1,5 + 0,4^2(1,8+5)}{1,8 + 5 + 1,5 + 0,7(1+1,2+0,8+0,2+1,2)}} =$$

$$= 0,65 \text{ кНм}$$

Визначаємо швидкість двигуна, n , об/хв:

$$n = \frac{60 \ v \ i}{\pi \ D}$$

де i - передавальне співвідношення редуктора

D - діаметр барабана, м

v - швидкість руху, м/с.

Всі дані беруться із завдання.

Відповідно до заданої тахограми виділяємо 3 швидкості: максимальну (0,6 м/с), середню (0,5 м/с) і мінімальну (0,1 м/с).

$$n_{max} = \frac{60 * 0,6 * 30}{3,14 * 0,5} = 687,55 \frac{об}{мин}$$

$$n_{сред} = \frac{60 * 0,5 * 30}{3,14 * 0,5} = 527,96 \frac{об}{мин}$$

$$n_{min} = \frac{60 * 0,1 * 30}{3,14 * 0,5} = 114,59 \frac{об}{мин}$$

Визначаємо тривалість включення приводу:

$$ПВ_{pac} = \frac{t_{раб}}{t_{ц}} * 100 \%$$

де $t_{раб}$ - загальний час роботи

$t_{ц}$ - час циклу

по тахограмі $t_{ц}=28,7$ с, $t_{раб}=12,7$ с.

$$ПВ_{pac} = \frac{12,7}{28,7} * 100 \% = 44 \%$$

Виробляємо перерахунок моменту на стандартну тривалість включення:

$$M'_e = M_e \sqrt{\frac{n_{pac}}{n_{cm}}}$$

$$M'_e = 0,65 \sqrt{\frac{44}{40}} = 0,68 \text{ кНм}$$

Визначаємо потужність двигуна, Р, кВт

$$P = \frac{M'_e n_{max}}{9,55}$$

$$P = \frac{0,68 * 687,55}{9,55} = 49,22 \text{ кВт}$$

Відповідно до [5], збільшуємо потужність двигуна на 20% (із-за додаткового нагріву пульсаціями випрямленого струму при системі ТП-Д).

$$P' = P_{1,2} = 49,22 \cdot 1,2 = 59,06 \text{ кВт}$$

По каталогу [5] обираємо двигун змінного струму типу АПН 11/2. Його дані заносимо до таблиці:

Таблиця 2.1– Двигун змінного струму

тип	P, Вт	об/хв	I _{я ном} , А	U, В	R _я , Ом	R _{ов} , Ом	I _{ов} , А
АПН 11/2	80	750	286	220	0,0311	32,5	4,84

Максимальна швидкість двигуна в приводі дорівнює 687,55 об/хв, а максимальна швидкість самого двигуна 750 об/хв, тобто у відносних одиницях:

$$n_{\max} = n_{\max} / n_{\text{ном}} = 687,55 / 750 = 0,92$$

Мінімальна швидкість:

$$n_{\min} = n_{\min} / n_{\text{ном}} = 114,59 / 750 = 0,15$$

Діапазон регулювання швидкості:

$$n_{\max} / n_{\min} = 687,55 / 114,59 = 6,00.$$

2.3 Вибір основного силового устаткування

Вибір тиристорного перетворювача

Враховуючи, що використана однозонна система регулювання (так як максимальна швидкість двигуна у відносних одиницях $n_{\max} = 0,92 < 1$). Отже магнітний потік двигуна постійний, визначаємо постійну $C_{\text{мФ}}$ і будуємо навантажувальну діаграму струмів:

$$M_{н о м} = \frac{P_{н о м} * 9550}{n_{н о м}}$$

$$M_{н о м} = \frac{55 * 9550}{750} = 700,33 \text{ Н*м}$$

По каталогу номінальний струм двигуна дорівнює 286 А.

$$M_{н о м} = C_m \Phi * I_{н о м}, \quad C_m \Phi = M_{н о м} / I_{н о м}$$

$$C_m \Phi = 700,33 / 286 = 2,45$$

Величина $C_m \Phi$ безрозмірна і є постійною, на яку треба помножити значення моментів на навантажувальній діаграмі для перетворення її в діаграму струмів.

Виконавши ці дії, отримаємо діаграму струмів (на рис. 2.4).

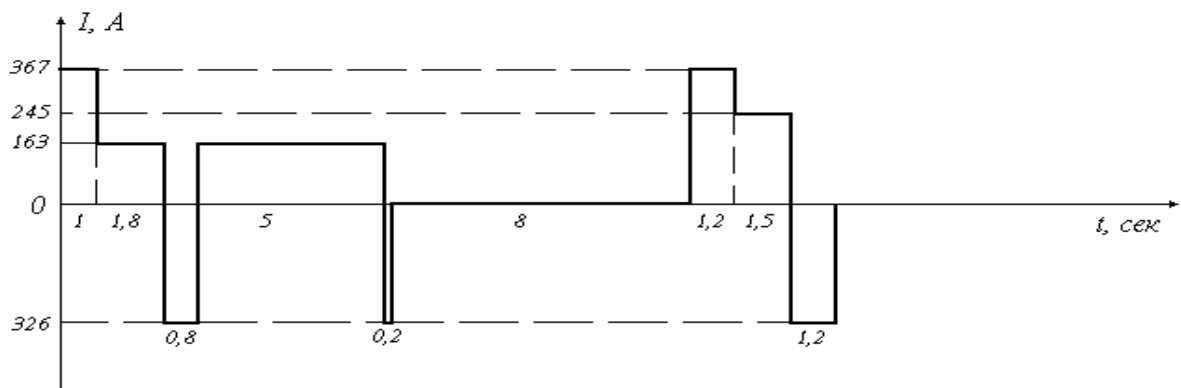


Рисунок 2.4– Діаграма струмів

Визначаємо середньоквадратичний струм двигуна.

$$I_{c p} = \sqrt{\frac{\sum I^2 * t}{\sum t}}$$

$$I_{c p} = \sqrt{\frac{I_1^2(t_{n1} + t_{n2}) + I_2^2(t_{m1} + t_{m2} + t_{m3}) + I_3^2 t_{y3} + I_4^2(t_{y1} + t_{y2})}{t_{y1} + t_{y2} + t_{y3} + t_{n1} + t_{n2} + t_{m1} + t_{m2} + t_{m3}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{367,35^2(1 + 1,2) + 326,63^2(0,8 + 0,2 + 1,2) + 244,9^2 1,5 + 163,27^2(1,8 + 5)}{1,8 + 5 + 1,5 + 1 + 1,2 + 0,8 + 0,2 + 1,2}} =$$

$$= 251,43 \text{ А}$$

Відповідно до [3], обираємо перетворювач типу КТЕУ 320/230 (комплектний тиристорний електропривод універсальний).

Його дані: $I_d = 320 \text{ A}$, $U_d = 230 \text{ B}$, $\lambda = 2,25$.

Потрібно провести перевірку правильності вибору перетворювача, перевірку відповідності трьом умовам:

$$\begin{aligned} I_{dн} &\geq I_{ном} & 320 > 286 \\ U_{dн} &\geq U_{ном} & 230 > 220 \\ \lambda * I_{dн} &\geq I_{max} & 2,25 * 320 = 720 > 367,35 \end{aligned}$$

Вибір живлячого трансформатора

Вторинна лінійна напруга трансформатора може бути визначена по [3], для номінальної напруги перетворювача в 230 В воно складає 205 В.

Максимальне значення випрямленої напруги по [3], визначається за формулою

$$U_{d0} = U_{2\phi} * K_B$$

де K_B - коефіцієнт випрямлення, для трьохфазної мостової схеми (у перетворювачі КТЕУ застосована така) він дорівнює 2,34.

$$U_{2\phi} = U_{2k} / \sqrt{3} = 205 / 1,73 = 118,36 \text{ B}$$

$$U_{d0} = 118,36 * 2,34 = 276,95 \approx 277 \text{ B}$$

Визначаємо потужність трансформатора по формулі з [3],:

$$S = K_{\pi} U_{d0} I_{dн}$$

де K_{π} - коефіцієнт використання трансформатора, по [3], в межах 0,6...0,8 (при навантаженні в 60-80% від номінального ККД трансформатора максимальний).

$$S = 0,8 * 277 * 320 = 70900,46 \text{ BA} \approx 71 \text{ кВА}$$

По [3], первинна напруга при $S < 250 \text{ кВА}$ приймаємо в 380 В.

По [3], обираємо трансформатор типу ТСП-100/0,7-УХЛ4, дані зводимо в таблицю:

Таблиця 2.2–Вибір живлячого трансформатора.

Тип	ном. S, кВА	вентильна		втрати, Вт		U _к , %	I _{х,х} , %	U ₁ , В
		обмотка		P _{х.х.}	P _{к.з}			
		U, В	I, А					
ТСП- 100/0,7- УХЛ4	93	205	262	440	2300	5,8	5	380

Побудова регулювальної характеристики перетворювача, визначення $\alpha_{\min}$, $\alpha_{\max}$

Визначаємо циклічну номінальну, максимальну і мінімальну швидкості:

$$\omega = n / 9,55$$

$$\omega_{\text{ном}} = n_{\text{ном}} / 9,55 = 750 / 9,55 = 78,53 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{\text{мах}} = n_{\text{мах}} / 9,55 = 687,55 / 9,55 = 71,99 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{\text{мин}} = n_{\text{мин}} / 9,55 = 114,59 / 9,55 = 12 \text{ рад/с}$$

Номінальний опір двигуна (за законом Ома):

$$R_{\text{ном дв}} = U_{\text{ном}} / I_{\text{ном}} = 220 / 286 = 0,77 \text{ Ом}$$

Визначуваний ККД двигуна номінальний:

$$\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / (U_{\text{ном}} I_{\text{ном}}) = 55000 / (220 \cdot 286) = 0,87 = 87 \%$$

Опір якоря:

$$z_{\text{я дв}} = 0,5 (1 - \eta_{\text{ном}}) R_{\text{ном дв}}$$

$$z_{\text{я дв}} = 0,5 (1 - 0,87) 0,77 = 0,05 \text{ Ом}$$

Визначаємо постійний коефіцієнт $k\Phi_{\text{ном}}$:

$$k \cdot \Phi_{\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}} - I_{\text{ном}} \cdot z_{\text{я\partial в}}}{\omega_{\text{ном}}}$$

$$k \cdot \Phi_{\text{ном}} = \frac{220 - 286 \cdot 0,05}{78,53} = 2,62 \text{ В с / рад}$$

Визначаємо максимальну і мінімальну напругу перетворювача:

$$U_d = k \Phi_{\text{ном}} \omega$$

$$U_{d \text{ max}} = 2,62 \cdot 78,53 = 205,7 \text{ В}$$

$$U_{d \text{ мин}} = 2,62 \cdot 12 = 31,43 \text{ В}$$

Для визначення мінімального кута регулювання перетворювача приймається напруга на 10% вище за напругу, що забезпечує максимальну швидкість, для забезпечення можливості форсування по [1]:

$$U'_d = U_{d \text{ max}} \cdot 1,1 = 205,7 \cdot 1,1 = 226,27 \text{ В}$$

Використовуючи арккосинуси можна розрахувати мінімальний і максимальний кути регулювання перетворювача аналітичним методом, не будуючи регулювальну характеристику.

$$\cos \alpha = U_d / U_{d0}$$

$$\cos \alpha_{\text{max}} = U_{d \text{ мин}} / U_{d0} = 31,43 / 277 = 0,11 \quad , \quad \alpha_{\text{max}} = 83,48^\circ$$

$$\cos \alpha_{\text{мин}} = U_{d \text{ max}} / U_{d0} = 226,27 / 277 = 0,82 \quad , \quad \alpha_{\text{мин}} = 35,23^\circ$$

Вибір згладжуючого реактора

Визначаємо критичну індуктивність:

$$L_{\text{кр}} = \frac{U_{d0}}{314 \cdot I_{\text{мин}}} \left(1 - \frac{\pi}{n} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{n} \right) \sin \alpha$$

де n - число пульсацій випрямленої напруги, для мостової схеми n = 6.

$$L_{\text{кр}} = \frac{277}{314 \cdot 163,27} \left(1 - \frac{\pi}{6} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{6} \right) \sin 83,48 = 0,54 \text{ мГн}$$

Визначаємо індуктивність ланцюга якоря:

$$L_{\text{я}} = \beta \frac{U_{\text{н о м}}}{\omega_{\text{н о м}} * p * I_{\text{н о м}}}$$

де β - коефіцієнт, який залежить від компенсування обмотки, 0,1...0,2

p - число полюсів, по [3] - 2

$$L_{\text{я}} = 0,1 \frac{220}{78,53 * 2 * 286} = 0,000489768 \approx 0,49 \text{ мГн}$$

Визначаємо індуктивність реактора:

$$L_{\text{р}} = L_{\text{кр}} - L_{\text{я}}$$

$$L_{\text{р}} = 0,54 - 0,49 = 0,05 \text{ мГн}$$

Оскільки необхідна індуктивність реактора дуже мала, то реактор можна не вибирати - обмеження зони переривистого струму буде забезпечено за рахунок власної індуктивності якоря.

2.4 Вибір САР, статичний розрахунок САР

Відповідно до завдання будуємо двоконтурну схему САР із зовнішнім контуром швидкості і внутрішнім контуром струму. Для забезпечення заданого темпу розгону використаний задатчик інтенсивності. Деякі пояснення і спрощення: на схемі тиристорний перетворювач представлений як пропорційна ланка з постійним коефіцієнтом посилення (що справедливо, якщо привід працює лише в режимі безперервного струму - що забезпечується індуктивністю ланцюга якоря). Оскільки система регулювання однозонна і магнітний потік постійний, тобто момент двигуна пропорційний струму якоря, а швидкість обертання пропорційна ЕДС, то двигун може бути представлений спрощеною функціональною схемою.

При побудові системи у якості датчика струму використаний датчик типу S402а, у якості датчика напруги (ДНС) використаний датчик типу S402 зі стандартним коефіцієнтом посилення 1, у якості ячійки гальванічної розв'язки

(ЯРГ) використаний датчик напруги типу S402 із стандартним коефіцієнтом посилення 1, у якості дільників використані дільники типу S400 (ДНЗ, ДНОС).

Резистори в дільниках вибираються шляхом розрахунку.

В якості тахогенератору вибраний тахогенератор з крутизною характеристики $\gamma = 0,15 \text{ В/об/хв}$. Напруга живлення схеми складає 24 В.

Розрахунок датчика струму, обмеження регулювальника швидкості.

По навантажувальній діаграмі максимальний струм дорівнює 367 А. По [3], обираємо шунт типу ШС-75 на струм $I_{\text{ш ном}} = 500 \text{ А}$. Номінальне падіння напруги при номінальному струмі для шунтів цього типу складає $\Delta U_{\text{ш}} = 75 \text{ мВ}$.

Коефіцієнт шунта дорівнює:

$$K_{\text{ш}} = \frac{\Delta U_{\text{ш}}}{I_{\text{ш ном}}}$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{0,075}{500} = 0,15 * 10^{-4} \text{ В/А}$$

Приймаючи бажаний вихід датчика при максимальному струмі, який дорівнює 10 В, визначаємо бажаний коефіцієнт датчика струму:

$$K_{\text{удт}} \leq \frac{U_{\text{выхдт}}}{\Delta U_{\text{ш max}}}$$

$$\text{где } \Delta U_{\text{ш max}} = K_{\text{ш}} I_{\text{max}} = 0,15 * 10^{-4} * 367 = 0,055 \text{ В}$$

$$K_{\text{удт}} = \frac{10}{0,055} = 181,65$$

Обираємо стандартний коефіцієнт датчика струму, який дорівнює 150, по номінальному ряду в [2].

Тоді вихід шунта при номінальному струмі двигуна рівний:

$$U_{\text{дт ном}} = K_{\text{удт}} K_{\text{ш}} I_{\text{ном}}$$

$$U_{\text{дт ном}} = 150 * 0,15 * 10^{-4} * 286 = 6,44 \text{ В}$$

При максимальному струмі:

$$U_{\text{дт max}} = K_{\text{удт}} K_{\text{ш}} I_{\text{max}}$$

$$U_{\partial t \max} = 150 \cdot 0,1510^{-4} \cdot 367 = 8,26 \text{ В}$$

Забезпечуючи можливість форсування і враховуючи недовикористання двигуна і перетворювача по перевантажувальній здатності приймаємо струм обмеження на 20% вище максимального.

$$I_{\text{огр}} = I_{\text{мак}} \cdot 1,2 = 367 \cdot 1,2 = 440,4 \text{ А}$$

$$U'_{\partial t \max} = U_{\partial t \max} \cdot 1,2 = 8,26 \cdot 1,2 = 9,91 \text{ В}$$

Приймаємо опір $R_{11} = R_9$, тобто $R_{11} = R_9 = 20 \text{ кОм}$.

Обмеження регулятора швидкості приймаємо рівним 10 В.

Розрахунок ланцюга зворотнього зв'язку за швидкістю, напруги виходу задатчика інтенсивності (ЗІ).

Визначаємо напругу виходу тахогенератора при максимальній швидкості двигуна:

$$U_{\text{ТГ макс}} = \gamma \cdot n_{\text{мак}}$$

$$U_{\text{ТГ макс}} = 0,15 \cdot 687,55 = 103,13 \text{ В}$$

Обираємо опір ділянки ДНОС, приймаючи $U_{\text{вих}} = 8 \text{ В}$, $R_{\text{вих}} = 1 \text{ кОм}$.

$$\frac{U_{\text{т. з. н. макс}}}{2 \cdot R_1 + R_{\text{вих}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{R_{\text{вих}}}$$

$$\frac{103,13}{2R_1 + 1} = \frac{8}{1}, \quad 2R_1 + 1 = 103,13 / 8, \quad R_1 = 5,95 \text{ кОм}$$

На рис. 2.5 показана схема ділянки ДНОС.

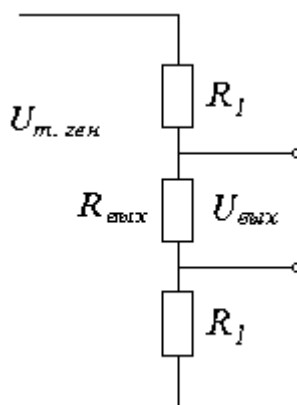


Рисунок 2.5– Схема ділянки ДНОС

Обираємо резистор типу МЛТ зі стандартного ряду. Стандартний номінал резистора 6,2 кОм.

Визначаємо струм дільника (за законом Ома), значення опорів підставляємо в кОм, струм отримуємо в мА:

$$I = \frac{U_{\text{тз ен}}}{2 * R_l + R_{\text{вих}}} = \frac{103,13}{2 * 6,2 + 1} = 7,7 \text{ мА}$$

Визначаємо максимальну напругу виходу дільника, також за законом Ома:

$$U_{\text{вих. max}} = IR_{\text{вих}} = 7,7 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 = 7,7 \text{ В}$$

Вихід датчика швидкості на мінімальній швидкості. Для цього необхідно вихід датчика на максимальній швидкості поділити на величину, зворотню діапазону регулювання або просто розділити на діапазон регулювання. Діапазон регулювання дорівнює 6:

$$U_{\text{вих. мин}} = U_{\text{вих. max}} / 6 = 7,7 / 6 = 1,28 \text{ В}$$

Приймаючи опір R12 рівним R7, тобто R12 = R7 = 20 кОм, отримуємо необхідний вихід задатчика інтенсивності:

при максимальній швидкості $U_{\text{вих. ЗІ max}} = 7,7 \text{ В}$.

при мінімальній швидкості $U_{\text{вих. ЗІ мин}} = 1,28 \text{ В}$.

Розрахунок ланцюга завдання.

Враховуючи, що коефіцієнт ЯРГ (ячійки розв'язки гальванічної) 1, розраховуємо дільника ДНЗ аналогічно розрахунку дільника ДНОС при бажаній напрузі виходу

$U_{\text{вих}} = 7,7 \text{ В}$ і напрузі живлення $U_{\text{жив}} = 24 \text{ В}$:

$$\frac{U_{\text{н ум}}}{2 * R_l + R_{\text{вих}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{R_{\text{вих}}} \Rightarrow \frac{24}{2 * R_l + 1} = \frac{7,7}{1} \Rightarrow 2 * R_l = \frac{24}{7,7} - 1$$

R_1 дільника ДНЗ = 1,06 кОм, $R_{\text{станд}} = 1,1 \text{ кОм}$ типа МЛТ.

Аналогічно, максимальна напруга виходу дільника дорівнює:

$$U_{\text{вих. max}} = IR_{\text{вих}}$$

$$I = \frac{U_{n\text{um}}}{2 * R_l + R_{\text{вих}}} = \frac{24}{2 * 1,1 + 1} = 7,5 \text{ мА}$$

$$U_{\text{вих. max}} = I * R_{\text{вих}} = 7,5 * 10^{-3} * 1 * 10^3 = 7,5 \text{ В}$$

Розрахунок параметрів ЗІ

Темп розгону приводу визначається по заданій тахограмі. Наростання напруги ЗІ визначається як відношення максимальної напруги на час розгону приводу до максимальної швидкості:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{7,7}{1,2} = 6,42 \text{ В/с}$$

Потрібно розрахувати ємність конденсатора C_1 . Приймаємо напругу обмеження $U_{\text{обм}} = 5 \text{ В}$, $R_3 = 50 \text{ кОм}$.

$$\frac{dU}{dt} = \frac{U_{\text{обм}}}{R_3 * C_1}$$

$$C_1 = \frac{U_{\text{обм}}}{R_3 * \frac{dU}{dt}} = \frac{5}{50 * 10^3 * 6,42} = 15,58 * 10^{-6} \text{ Ф} = 15,58 \text{ мкФ}$$

Вихід ЗІ при максимальній швидкості складає $U_{\text{вих}} = 7,7 \text{ В}$, а напруга завдання $U_{\text{вх}} = 7,5 \text{ В}$. Задаємо опір $R_1 = 20 \text{ кОм}$, обираємо опір R_6 :

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R_1} = \frac{U_{\text{вих}}}{R_6}$$

$$R_6 = \frac{U_{\text{вих}} * R_1}{U_{\text{вх}}} = \frac{7,7 * 20}{7,5} = 20,53 \text{ кОм}$$

Здобуття мінімальної швидкості приводу здійснюється шляхом введення опору R_2 в ланцюг завдання, при цьому вихід ЗІ повинен складати $U_{\text{вих}} = 1,28 \text{ В}$:

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R_1 + R_2} = \frac{U_{\text{вих}}}{R_6}$$

$$R_2 = \frac{U_{\text{вх}} * R_6}{U_{\text{вих}}} - R_1 = \frac{7,5 * 20,53}{1,28} - 20 = 100,29 \text{ кОм.}$$

Оскільки окрім мінімальної швидкості (0,1 м/с) є ще і середня (0,5 м/с), то необхідно поділити загальний опір R_2 на два - опір для здобуття середньої швидкості, назовемо його R_{cp} і опір R_2 в додаванні з ним дає 100,29 кОм.

Визначимо вихід датчика швидкості (і, відповідно, ЗІ) при середній швидкості.

$$n_{cp} / n_{max} ; \quad 527,96 / 687,55 = 0,77;$$

$$U_{вих. cp} = U_{вих. max} * 0,77 = 7,7 * 0,77 = 5,93 \text{ В}$$

По тій же формулі визначимо значення R_{cp} :

$$R_{cp} = \frac{U_{вх} * R_6}{U_{вих cp}} - R_1 = \frac{7,5 * 20,53}{5,93} - 20 = 5,97 \text{ кОм}$$

Настільки мале значення опору пояснюється тим, що середня швидкість складає приблизно 80 % від максимальної, яка обходиться без резистора взагалі.

Отже $R_{cp} + R_2 = 100,29 \text{ кОм}$, звідси $R_2 = 100,29 - 5,97 = 94,32 \text{ кОм}$.

Як це виглядатиме, показано на рис. 2.6.

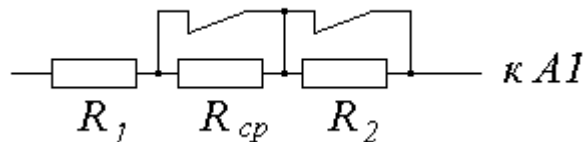


Рисунок 2.6—Збірка резисторів

Оскільки операційний підсилювач АЗ є інвертором і повторює сигнал, лише змінюючи його знак, то опори R_4 і R_5 вибираються однаковими і рівними $R_4=R_5 = 20 \text{ кОм}$.

2.5 Вибір релейної схеми

Пояснення до схеми:

KV1 - реле захисту від перевищення напруги тиристорного перетворювача.

KV2 - реле ЕДС перетворювача.

KV3 - реле ЕДС двигуна.

КА - реле максимального струмового захисту.

КА1 - реле мінімального струмового захисту (контролю струму збудження).

КМ - силовий контактор. Забезпечує збірку схеми тиристорний перетворювач - двигун, підключає двигун до перетворювача (і відключає його). У його ланцюзі живлення є контакт реле KL5, який контролює правильність збірки схеми - подачу напруги, дозвіл роботи приводу, блокування інших схем і тому подібне.

КМ1 - контактор динамічного гальмування.

KL1, KL2 - проміжні реле напрями, що визначають полярність завдання САР.

Путні вимикачі SQ 2, SQ 3 забезпечують зупинку при ході вперед і назад відповідно, SQ 1 визначає перехід на повзучу швидкість при ході вперед.

KL3 - реле малої швидкості при ході вперед (забезпечує введення опору R_2 в ланцюг завдання).

KL4 - реле середньої швидкості при ході вперед (забезпечує введення опору R_{cp} в ланцюг завдання).

KL5 - реле контролю правильності збірки схеми.

KL6 - реле, що визначає вертикальне положення конвертера (за допомогою контакту кінцевого вимикача SQ) і що вирішує запуск двигуна.

YA - електромагнітне гальмо, що фіксує верхнє і нижнє положення фурми.

VD-R - ланцюг захисту від перевищення напруги у обмотці збудження двигуна (і така ж в котушки електромагніту).

HL1 - поданіє напруга на двигун (відключення ламп 1-3 свідчить про динамічне гальмування).

HL2 - хід вперед.

HL3 - хід назад, HL4 - подача живлення на схему.

2.6 Розрахунок і вибір апаратури управління та захисту

Вибір максимального струмового реле

Вибір реле здійснюється виходячи з номінального струму двигуна і уставки спрацьовування. Номінальний струм двигуна дорівнює 286 А. Уставку спрацьовування реле приймаємо на 10% вище за струм обмеження, рівного 440,4 А .

$$I_{уст} = 1,1 I_{обм} = 1,1 \cdot 440,4 = 484,44 \text{ А}$$

По [4] обираємо реле типу РЕВ 571 (постійного струму) з самоповерненням, на номінальний струм 440 А, з регульованою в межах (0,7-3) $I_{ном \text{ реле}}$ уставкой - в нашому випадку $1,1 I_{ном \text{ реле}}$.

Вибір мінімального струмового реле

Номінальний струм збудження двигуна складає 4,84 А - двигун працює без ослаблення поля. Уставка реле на відпадання приймаємо рівною $0,5 I_{ном \text{ збудж.}}$.

$$I_{уст} = 0,5 I_{ном \text{ збудж}} = 0,5 \cdot 4,84 = 2,42 \text{ А}$$

Приймаємо реле РЕВ86 з номінальним струмом в 5 А, по [4]. Струм спрацьовування цього реле регудується в межах $0,3...0,6 I_{ном \text{ реле}}$, в нашому випадку $0,48 I_{ном \text{ реле}}$.

Реле захисту від перевищення напруги

Спрацьовування реле захисту від перевищення напруги повинне відбуватися при напрузі, що перевищує напругу двигуна, що допускається. Обираємо напругу спрацьовування реле, яка дорівнює 260 В (можливо при зміні $\alpha_{мін}$). Для установки обираємо реле РЕВ821 по [4], на номінальну напругу 220 В. Напруга втягування складає 110 В. Потужність реле 20 Вт, коефіцієнт повернення 0,4.

Визначаємо номінальний струм реле:

$$I_p = \frac{P}{U} = \frac{20}{220} = 0,09 \text{ А}$$

Оскільки напруга втягування в 2 рази менше робочої напруги, то і струм втягування в 2 рази менше: $I_{вт} = 0,5 I_p = 0,5 \cdot 0,09 = 0,045 \text{ А} = 45 \text{ мА}$.

Визначаємо опір котушки реле за законом Ома:

$$R_{\kappa} = \frac{U_{н о м}}{I_{н о м}} = \frac{220}{0,09} = 2420 \text{ Ом}$$

Послідовно з реле включаємо опір R4 . Визначаємо загальний опір ланцюгу при необхідному рівні напруги втягування:

$$R_{о б щ} = \frac{U_{вт}}{I_{вт}} = \frac{260}{0,045} = 5777,78 \text{ Ом}$$

Опір резистора R4 буде дорівнювати:

$$R_4 = R_{о б щ} - R_{\kappa} = 5777,78 - 2420 = 3357,78 \text{ Ом}$$

Визначаємо потужність резистора:

$$P = I_{вт}^2 * R = (0,045)^2 * 3357,78 = 6,8 \text{ Вт}$$

Обираємо резистор типу ПЕВР-10 з опором, рівним 4 кОм.

Реле ЕРС перетворювача служить для забезпечення можливості збірки схеми при напрузі перетворювача, близькій до нуля і для контролю напруги перетворювача. Напругу втягування реле приймаємо рівним 30 В, напруга відпадання реле дорівнює 25 В, коефіцієнт повернення дорівнює 0,83.

Схема включення реле приведена на рис. 2.7.

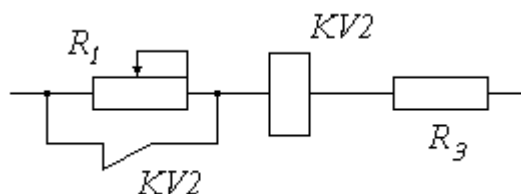


Рисунок 2.7– Реле ЕРС перетворювача

Обираємо реле типу РЕВ821 по [2]. Номінальна напруга 48 В. Напруга втягування 10 В. Коефіцієнт повернення 0,4. Споживана потужність 5 Вт.

Визначаємо номінальний струм реле: $I_{ном} = P / U_{ном} = 5 / 48 = 0,1 \text{ А}$

Вибір гальмівного електромагніту і його опору

Для фіксації початкового (верхнього) і кінцевого (нижнього) положення застосоване електромагнітне гальмо.

Необхідний момент гальма дорівнює $M_{\text{торм}} = 0,4 M_{\text{ном}}$. $M_{\text{ном}} = 700,33 \text{ Нм}$, отже $M_{\text{торм}} = 0,4 \cdot 700,33 = 280,13 \text{ Н*м}$. По [4], підходить електромагніт марки ТКП 300 з наступними номінальними даними: $U_k = 110 \text{ В}$, $M_{\text{торм}} = 340 \text{ Нм}$, $P = 285 \text{ Вт}$. Для форсованого розгальмування на електромагніт подається повна напруга живлення (220 В) і через витримку часу 0,5с реле КТ, в коло електромагніту вводиться опір R_e , що оберігає його від входу зі строю із-за тривалого перегріву подвійним струмом. Обчислюємо номінальний струм електромагніту:

$$I_{\text{н о м}} = \frac{P}{U_{\text{н о м}}} = \frac{285}{110} = 2,59 \text{ А}$$

Опір резистора дорівнює:

$$R = \frac{U_{\text{рез}}}{I_{\text{н о м}}} = \frac{U_{\text{н ум}} - U_{\text{н о м}}}{I_{\text{н о м}}} = \frac{220 - 110}{2,59} = 42,47 \text{ Ом}$$

Розсіювана теплова потужність резистора рівна:

$$P_R = I^2 R = 2,59^2 \cdot 42,47 = 284,9 \text{ Вт}$$

По [4] вибираємо ящик опорів типу ЯС100/2 із стрічковими і дротяними елементами, в нашому випадку дротяними, марки НС 414/48, $I_{\text{ном}} = 2,7 \text{ А}$, $R = 48 \text{ Ом}$, у ящику 10 елементів. Визначаємо значення опору в ланцюзі сигнальних ламп. У якості сигнальних ламп в схемі застосовані лампи типу К-24 з наступними номінальними даними: $U_{\text{пит}} = 24 \text{ В}$, $I_{\text{ном}} = 90 \text{ мА}$.

Оскільки напруга живлення оперативного ланцюга складає 220 В, то для захисту лампи необхідно ввести опір. Його значення визначається за законом Ома:

$$R = \frac{U_{\text{рез}}}{I_{\text{н о м}}} = \frac{U_{\text{н ум}} - U_{\text{н о м}}}{I_{\text{н о м}}} = \frac{220 - 24}{0,09} = 2177,78 \text{ Ом}$$

Розсіювана теплова потужність резистора дорівнює:

$$P_R = I^2 R = 0,09^2 \cdot 2200 = 17,82 \text{ Вт}$$

Обирається резистор типу ПЕВ-25, опір 2,2 кОм, розсіювана потужність 25 Вт.

Вибір апаратури управління

В попередніх розділах були вибрані реле КА, КА1, КV1, КV2.

Автоматичний вимикач QF вибраний лише для оперативної схеми, на невеликий струм відсічки - до 10 А, для силової схеми автоматичний вимикач входить в комплект постачання тиристорного перетворювача (КТЕП). Параметри апаратури захисту наведені у таблиці 2,3.

Таблиця 2.3–Параметри апаратури захисту.

Позиція позначе ння	Найменування апаратів	Необхідні параметри	Каталожные данные тип технические данные	
КМ, КМ1	силовий контактор	$U_K = 220 \text{ В},$ $I_{Г. К.} = 286 \text{ А},$ $n_{Г. К.} = 1, n_{Вс. К.} = 2$	КМ2000	$U_K = 220 \text{ В},$ $I_{НОМ} = 320 \text{ А},$ $n_{Г. К.} = 1, n_{Вс. К.} = 4$
KL 1-6	проміжне реле	$U_K = 220 \text{ В},$ $n_{з. К.} = 6,$ $n_{разм. К.} = 2.$	РП 41	$U_K = 220 \text{ В},$ восьмиконтакторное исполнение: $n_{К. зам.}$ $= 6,$ $n_{К. разм.} = 2, P = 25 \text{ Вт}$
KV3	реле напруги	$U_K = 220 \text{ В},$ $n_{К.} = 2,$ $U_{ВТ} = 0,85 * U_{НОМ}$	РЭВ 84	$U_K = 220 \text{ В},$ $n_{К. зам.} = 2,$ $R_K = 3,7 \text{ кОм}$
КТ	реле часу	$U_K = 220 \text{ В},$ $n_{К.} = 1,$ $t = 0,5 \text{ сек}$	РЭВ 811	$U_K = 220 \text{ В},$ витримка часу на відпуск 0,25- 1 с.
YA	гальмівний электромагнит	$M_{ТОРМ} = 0,4 * M_{ДВ} =$ $= 0,4 * 700 = 280 \text{ Н*М}$	ТКП 300	$U_K = 110 \text{ В}$ $M_{ТОРМ} = 340 \text{ Н*М}$
SQ	шляховий вимикач	$n_{КОНТ} = 3$	ВПК 2000А	$U_K = 220 \text{ В},$ $I_{К.} = 4...6 \text{ А}$
QF	автоматичний вимикач	$U_K = 220 \text{ В}$	АП50	$U_K = 220 \text{ В},$ $I_{відсічки} = 10 \text{ А}$

2.7 Розрахунок і вибір живлячих ліній

Необхідно вибрати живлячий кабель для якірного ланцюга і перевірити його на падіння напруги. Він складається з двох ділянок: від цехової розподільної підстанції до перетворювача тиристора і від перетворювача тиристора до якірного ланцюга двигуна. Довжина цих ділянок складає 60 і 40 метрів відповідно, напруга на них 380 і 220 В. Кабелі вибираються по співвідношенню $I_{рас} \leq I_{доп}$.

$$I_{рас} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}} * I_{д н о м}}{h}$$

де $I_{д н о м}$ - номінальний струм перетворювача

h - коефіцієнт, який залежить від схеми випрямлення перетворювача, для мостової дорівнює 2,34.

$$I_{рас} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}} * 320}{2,34} = 111,66 \text{ A}$$

Обираємо трьохжильний кабель з алюмінієвими жилами, пластмасовою ізоляцією в свинцевій оболонці, з перерізом струмопровідних жил в 70 мм^2 , для прокладки кабелю в повітрі $I_{доп} = 140 \text{ A} > I_{рас} = 111,66 \text{ A}$.

Перевіряємо вибраний кабель на падіння напруги на вибраній ділянці. $\Delta U_{доп} = 5 \%$.

$$\Delta U_{рас} = \frac{\sqrt{3} * I_{рас} * l}{\chi * S * U_{н о м}} * 100 \%$$

де χ - коефіцієнт, який залежить від матеріалу провідника, для алюмінію дорівнює 35

l - довжина живлячого кабелю (для цієї ділянки дорівнює 60 м)

S - переріз струмопровідної жили, мм^2

$$\Delta U_{рас} = \frac{\sqrt{3} * 111,66 * 60}{35 * 70 * 220} * 100 \% = 2,15 \%$$

Оскільки $\Delta U_{рас} = 2,15 \% < \Delta U_{доп} = 5 \%$, то кабель вибраний вірно.

Обираємо кабель для другої ділянки. $I_{роб.}$ двигуна дорівнює 286 А. По [3], обираємо три одножильні кабелі з алюмінієвими жилами, пластмасовою ізоляцією в свинцевій оболонці, з перерізом струмопровідних жил в 120 мм².

$I_{доп}$ для цих кабелів при прокладці в повітрі дорівнює 295 А.

Перевіряємо вибрані кабелі на падіння напруги на вибраній ділянці.

$\Delta U_{доп} = 5 \%$, $l = 40$ м.

$$\Delta U_{рас} = \frac{2 * I_{рас} * l}{\chi * S * U_{ном}} * 100 \%$$

$$\Delta U_{рас} = \frac{2 * 286 * 40}{35 * 120 * 220} * 100 \% = 2,48 \%$$

Оскільки $\Delta U_{рас} = 2,48 \% < \Delta U_{доп} = 5 \%$, то можна використовувати ці кабелі.

Для живлення ланцюга збудження застосуємо двожильний кабель з перерізом струмопровідних жил в 6 мм² - із-за підвищених вимог до цієї ділянки траси, зокрема необхідність підвищеної механічної міцності (оскільки струм збудження складає 4,84 А, то чисто по струму можна було б прийняти кабель меншого перетину).

В якості контрольних кабелів приймаємо кабелі перерізом в 1,5 мм², кількість жил для кожного кабелю своя (кількість необхідних каналів + 1 резервний).

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Формування структурної і функціональної схем

Функціональна схема системи регулювання швидкості АД при живленні його від перетворювача частоти (ПЧ на основі автономного інвертора напруги) з управлінням по вектору потокозчеплення ротора двигуна представлена на рис. 3.1. Подібна система векторного управління (система Transvector) вперше була запропонована фірмою Siemens (ФРН). Система має два зовнішні контури регулювання – модулі вектора потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ і кутової швидкості ω двигуна, а також два підлеглих їм внутрішніх контура регулювання складових струму статора I_{1x} і I_{1y} в вісях x і y ортогональної системи координат, що обертається з синхронною швидкістю ω_{0el} поля двигуна. Система здійснює незалежне регулювання модуля вектора потокозчеплення ротора і швидкості ротора при збереженні прямої пропорційності між моментом двигуна і складової намагнічуваної сили статора, яка перпендикулярна вектору потокозчеплення ротора. Сигнал задання потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ формується в спеціальному обчислювальному пристрої ОП, який використовує математичну модель АД і реальні параметри двигуна, які вводяться в неї: активні і реактивні опори ланцюгів статора і ротора, число пар полюсів, номінальні значення потужності, швидкості, напруги і струму статора, їх частоти, ККД і потужності.

На рис. 3.1 параметри двигуна, які вводяться, умовно зображені у вигляді сукупності зовнішніх сигналів X_{en} на вході ОП. Зовнішній сигнал задання швидкості двигуна ω_s подається на вхід задатчика інтенсивності ЗІ, що формує темп зміни швидкості двигуна відповідно до необхідних технологічних обмежень. Вимір поточних значень швидкості, потокозчеплення ротора і

струмів статора АД виконується за допомогою датчиків швидкості (тахогенератор ТГ), потоку (ДП) і струму (ДС).

Датчик потоку перетворить виміряні за допомогою датчиків Холу трифазні миттєві значення потокозчеплення в повітряному зазорі $\psi_{\mu a}$, $\psi_{\mu b}$ в складові потоку $\psi_{\mu\alpha}$, $\psi_{\mu\beta}$ в вісях α , β ортогональної системи координат, жорстко пов'язаної з нерухомим статором двигуна, причому вісь α поєднується з магнітною віссю обмотки статора фази А. Вказані складові визначаються наступними виразами:

$$\psi_{\mu\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}}\psi_{\mu a}; \quad \psi_{\mu\beta} = \sqrt{2}(\frac{1}{2}\psi_{\mu a} + \psi_{\mu b}) \quad (3.1)$$

Крім того, в ДП здійснюється обчислення складових потокозчеплення ротора згідно виразів

$$\psi_{2\alpha} = \frac{L'_2}{L_{12}}\psi_{\mu\alpha} - (L'_2 - L_{12})I_{1\alpha}; \quad \psi_{2\beta} = \frac{L'_2}{L_{12}}\psi_{\mu\beta} - (L'_2 - L_{12})I_{1\beta}$$

Датчик струму вимірює миттєві значення фазних струмів статора I_{1a} , I_{1b} і аналогічно датчику потоку перетворить їх в двофазну систему змінних $I_{1\alpha}$, $I_{1\beta}$. Перетворення змінних АД, приведених в нерухомій системі координат α , β в змінні системи координат x , y зв'язаною з потокозчепленням ротора і такою, що обертається з швидкістю ω_{0el} , здійснюється вектором-фільтром ВФ і координатним перетворювачем КП1. Вектор-фільтр виділяє модуль вектора потокозчеплення ротора

$$|\psi_2| = \sqrt{\psi_{2\alpha}^2 + \psi_{2\beta}^2}$$

і тригонометричні функції

$$\cos \varphi_{0el} = \psi_{2\alpha} / |\psi_2|; \quad \sin \varphi_{0el} = \psi_{2\beta} / |\psi_2|,$$

де φ_{0el} - електричний кут повороту ротора відносно статора в вісях x , y ($\varphi_{0el} = \omega_{0el}t$). Перетворювач КП2 здійснює оберт вектора намагнічуваної сили статора на кут φ_{0el} відповідно до виразів

$$I_{1x} = I_{1\alpha} \cos \varphi_{0el} + I_{1\beta} \sin \varphi_{0el}$$

$$I_{1y} = -I_{1\alpha} \sin \varphi_{0el} + I_{1\beta} \cos \varphi_{0el}$$

в які входять складові струму статора по вісях x , y системи координат, що обертається. Оскільки вектор потокозчеплення ротора в системі координат x , y поєднаний з віссю x , тобто $|\psi_2| = \psi_{2x}$, $\psi_{2y} = 0$, то складова струму I_{1x} визначає магнітний потік двигуна, що по аналогії з двигуном постійного струму порівняно з дією струму в ланцюзі його обмотки збудження. При цьому складова струму I_{1y} подібно до струму в якірному ланцюзі двигуна постійного струму визначає електромагнітний момент двигуна. Задання на електромагнітний момент двигуна формується вихідним сигналом регулятора швидкості РШ, на вході якого порівнюються сигнал задання швидкості ω_{3l} з виходу ЗІ і сигнал, пропорційний поточній швидкості двигуна. Обмеження вихідного сигналу РШ забезпечує обмеження задання максимальних значень електромагнітного моменту АД. Для підтримки постійності електромагнітного моменту при змінах модуля потокозчеплення ротора введений відповідно до виразу (3.2) блок ділення (БД) сигналу з виходу регулятора швидкості на $|\psi_2|$.

$$M(p) = \frac{3}{2} p_{\Pi} k_2 \psi_{2x}(p) I_{1y}(p) \quad (3.2)$$

На виході блоку ділення формується сигнал задання I_{1y3} складовій струму статора по вісі y (I_{1y}).

Сигнал задання I_{1x3} складовій струму статора по осі x (I_{1x}) формується на виході регулятора потоку РП, на вході якого порівнюються сигнали задання і реальні значення модуля потокозчеплення ротора.

Сигнали задання I_{1x3} і I_{1y3} порівнюються з поточними складовими струмів статора I_{1x} і I_{1y} на входах регуляторів струму відповідно PT_x і PT_y , вихідні сигнали яких визначають задання складової напруги статора U_{1x3} і U_{1y3} в системі координат x , y . Якщо в системі диференціальних рівнянь

$$U_{1x} = -k_2 \frac{R'_2}{L'_2} \psi_{2x} - \sigma L_1 I_{1y} \omega_{0el} + (R_1 + k_2^2 R'_2) I_{1x} + \sigma L_1 \frac{dI_{1x}}{dt};$$

$$\begin{aligned}
U_{1y} &= \sigma L_1 \frac{dI_{1y}}{dt} + I_{1y} (R_1 + k_2^2 R_2') + (k_2 \psi_{2x} \omega_{0el} - k_2^2 R_2' I_{1y}) + \sigma L_1 I_{1x} \omega_{0el} = \\
&= \sigma L_1 \frac{dI_{1y}}{dt} + I_{1y} (R_1 + k_2^2 R_2') + (k_2 \psi_{2x} \omega_{0el} - k_2 \psi_2 \omega_{0el} + k_2 p_{II} \omega \psi_{2x}) + \sigma L_1 I_{1x} \omega_{0el} = \\
&= k_2 p_{II} \omega \psi_{2x} + \sigma L_1 I_{1x} \omega_{0el} + (R_1 + k_2^2 R_2') I_{1y} + \sigma L_1 \frac{dI_{1y}}{dt};
\end{aligned}$$

виконати компенсацію складових E_{1x} і E_{1y} , то без їх врахування подібно до електроприводів постійного струму

$$\begin{aligned}
U_{1x}(p) &= R_{1e}(1 + T_{1e}p)I_{1x}(p); \\
U_{1y}(p) &= R_{1e}(1 + T_{1e}p)I_{1y}(p).
\end{aligned} \tag{3.3}$$

На рис. 3.1 роль вказаної компенсації виконує блок БК, в який вводяться змінні, I_{1x} , I_{1y} , $|\psi_2|$, ω_{0el} , ω і де виконуються відповідні функціональні перетворення. Перетворення складових напруги статора U_{1x} , U_{1y} , з виходу БК у відповідні $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$, в вісях α , β , здійснюється блоком координатних перетворень КП1 відповідно до виразів

$$\begin{aligned}
U_{1\alpha} &= U_{1x} \cos \varphi_{0el} - U_{1y} \sin \varphi_{0el}; \\
U_{1\beta} &= U_{1x} \sin \varphi_{0el} + U_{1y} \cos \varphi_{0el}.
\end{aligned}$$

У перетворювачі фаз ПФ відповідно до виразів

$$U_{1a} = \sqrt{\frac{2}{3}} U_{1\alpha}; \quad U_{1b} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} U_{1\alpha} + U_{1\beta} \right); \quad U_{1c} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} U_{1\alpha} - U_{1\beta} \right)$$

формується трифазні синусоїдальні сигнали U_{1a} , U_{1b} , U_{1c} , які визначають на виході перетворювача частоти амплітуду і частоту напруг U_A , U_B , U_C живлення обмоток старого двигуна.

Передавальна функція перетворювача частоти по напрузі спільно з блоками перетворення координат

$$W_{ПЧ}(p) = U_{1x}(p)/U_{1xz}(p) = U_{1y}(p)/U_{1yz}(p) = k_n/(T_{II}p + 1)$$

де k_{II} - еквівалентний статичний коефіцієнт передачі між складовими напруг U_{1xz} , U_{1yz} , управління перетворювачем і складовими в вісях x, y вихідних напруг перетворювача U_{1x} , U_{1y} ; T_{II} - еквівалентна постійна часу ланцюга управління

перетворювачем. Тоді передавальні функції між складовими напруг U_{1x} , U_{1y} і струмів I_{1x} , I_{1y} статора

$$\begin{aligned} W_{\Pi X}(p) &= \frac{I_{1x}(p)}{U_{1x3}(p)} = \frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} p + 1} \frac{1}{R_{1e}(T_{1e} p + 1)}; \\ W_{\Pi Y}(p) &= \frac{I_{1y}(p)}{U_{1y3}(p)} = \frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} p + 1} \frac{1}{R_{1e}(T_{1e} p + 1)}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Узагальнена лінеаризована структурна схема електроприводу, зображена на рис. 3.1, з врахуванням виразів

$$\begin{aligned} \psi_{2x}(p) &= L_{12} \frac{1}{(1 + T_2 p)} I_{1x}(p); \\ [\omega_{0el}(p) - p_{\Pi} \omega(p)] \psi_{2x}(p) &= \frac{L_{12}}{T_2} I_{1y}(p). \end{aligned}$$

$$M(p) = \frac{3}{2} p_{\Pi} k_2 \psi_{2x}(p) I_{1y}(p)$$

$$\begin{aligned} W_{\Pi X}(p) &= \frac{I_{1x}(p)}{U_{1x3}(p)} = \frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} p + 1} \frac{1}{R_{1e}(T_{1e} p + 1)}; \\ W_{\Pi Y}(p) &= \frac{I_{1y}(p)}{U_{1y3}(p)} = \frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} p + 1} \frac{1}{R_{1e}(T_{1e} p + 1)} \end{aligned}$$

приведена на рис. 3.2. Схема містить два однакові по параметрах внутрішніх контура регулювання складових I_{1x} , I_{1y} струму статора з коефіцієнтом зворотного зв'язку по струму k_{oT} , зовнішній контур регулювання потокозчеплення ротора з коефіцієнтом зворотного зв'язку по потокозчепленню $k_{o\Pi}$ і зовнішній контур регулювання швидкості двигуна з коефіцієнтом зворотного зв'язку за швидкістю k_{oC} . Дана схема подібна до структурної схеми системи двозонного регулювання швидкості двигуна постійного струму. Тому при налаштуванні контурів регулювання на модульний оптимум визначення параметрів передавальних функцій регуляторів струму $W_{PT}(p)$, потокозчеплення $W_{P\Pi}(p)$ і швидкості $W_{PC}(p)$ виконується аналогічно:

$$W_{PT}(p) = k_{PT} + \frac{1}{T_{ul} p}; \quad W_{P\Pi}(p) = k_{P\Pi} + \frac{1}{T_{\Pi\Pi} p}; \quad W_{PC}(p) = k_{PC};$$

де k_{PT} - передавальний коефіцієнт пропорційної частини регулятора струму,

$k_{PT} = T_{1e} / T_{ul}$; T_{ul} - постійна часу інтегрування ПІ-регулятора струму

$T_{ul} = \frac{k_{OT} k_{II}}{R_{12}} a_I T_{II}$ - передавальний коефіцієнт пропорційної частини регулятора

потокосцеплення ротора, $k_{PII} = T_2 / T_{II,II}$; $T_{II,II}$ - постійна часу інтегрування ПІ-

регулятора потокосцеплення ротора $T_{II,II} = \frac{k_{O,II} L_{12}}{k_{OT}} a_{II} a_I T_{II}$;

k_{PC} - передавальний коефіцієнт ПІ-регулятора швидкості $k_{PC} = \frac{2Jk_{OT}}{3p_{II} k_2 k_{OC} a_{\omega} a_I T_{II}}$.

У приведених формулах a_I , a_{II} і a_{ω} знаходяться в діапазоні від 2 до 4.

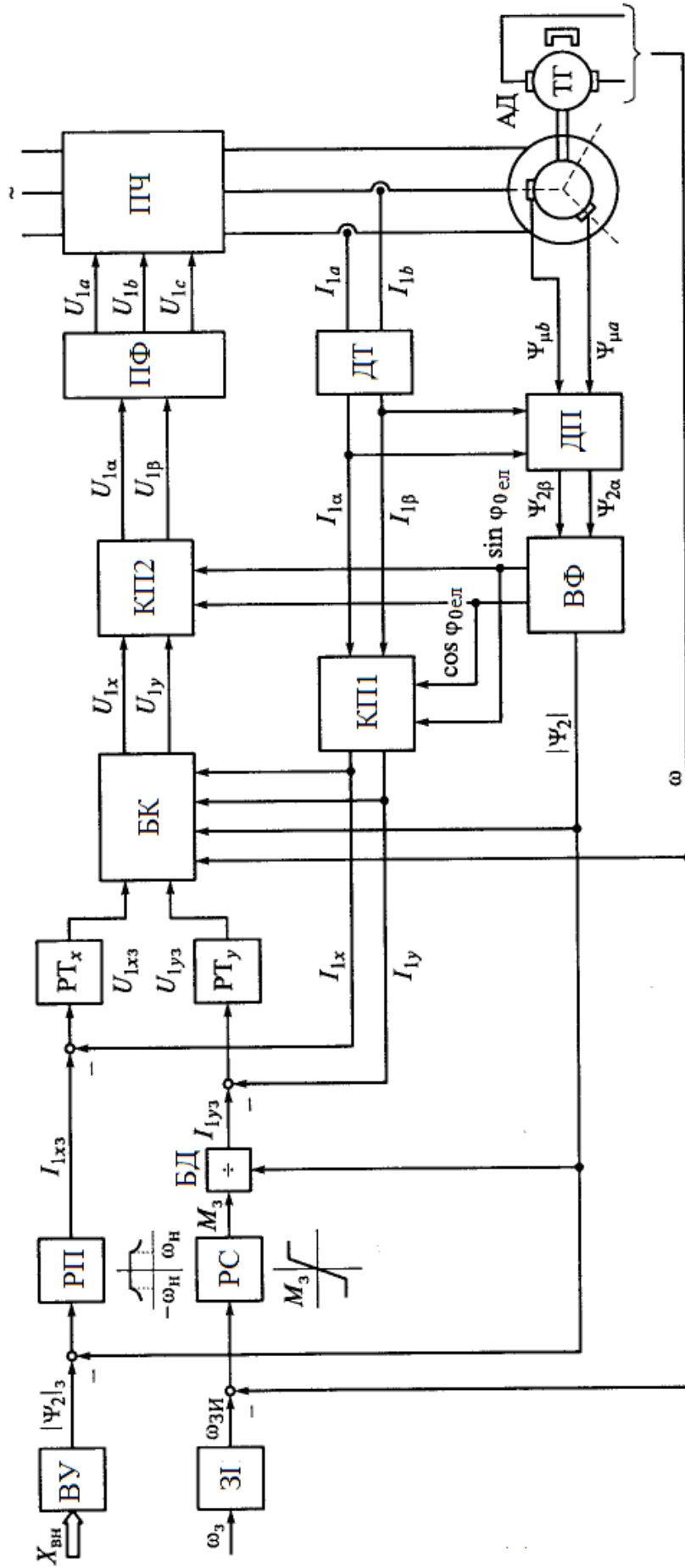


Рисунок 3.1 Функціональна схема системи регулювання швидкості АД з управлінням по вектору потокозчеплення його ротора.

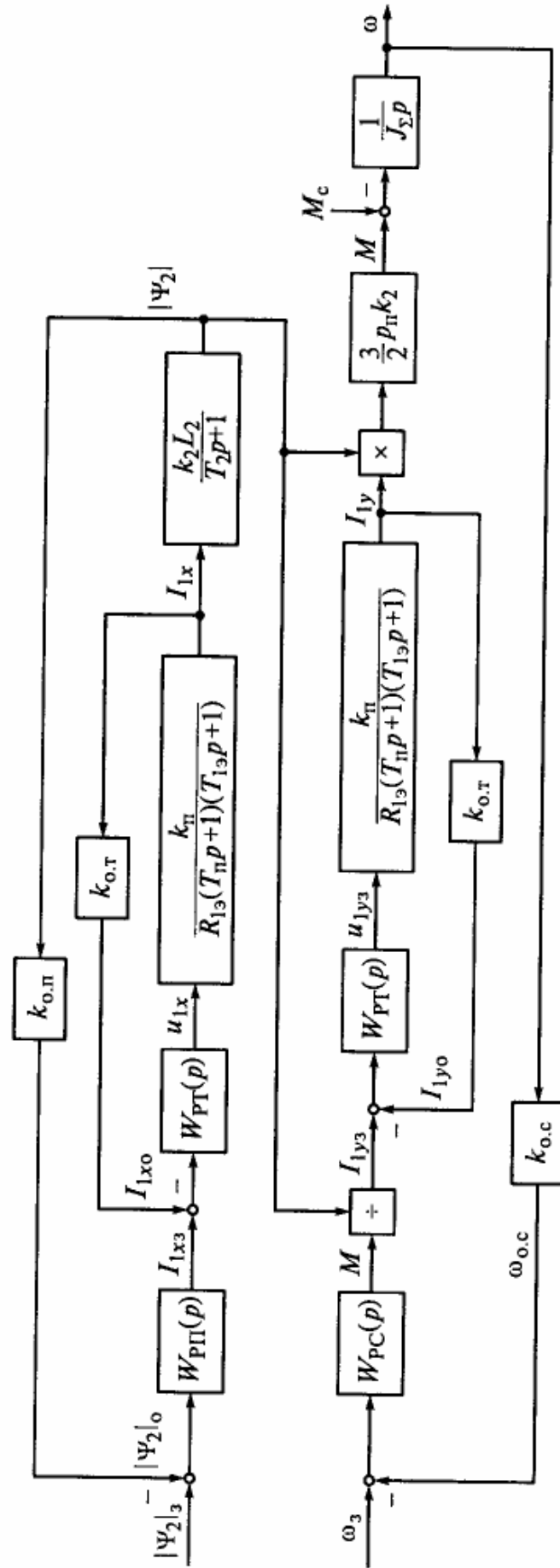


Рисунок 3.2—Структурна схема системи ПЧ-АД - при орієнтації координат x, y по потокозчепленню ротора

3.2 Алгоритм синтезу системи керування

Силова частина матричного перетворювача частоти (рис.3.3) включає вхідний LC-фільтр, який призначений для згладжування високочастотних пульсацій мережевого струму, напівпровідниковий комутатор, який містить дев'ять двонаправлених силових ключів, і активно-індуктивне навантаження. Навантаженням МПЧ можуть служити трьохфазні обмотки електродвигунів змінного струму. Для коректної роботи перетворювача (відсутність інтервалів короткого замикання фаз мережі і розриву струму навантаження) необхідно виконувати наступну умову: з дев'яти ключів МПЧ одночасно замкнутими (активними) завжди повинні бути три ключі, що відносяться до різних фаз навантаження. Таким чином, в кожен момент часу МПЧ може приймати один з 27 станів, які характеризуються різними комбінаціями ключів, що знаходяться в активному стані. Всі ці стани ключів, відповідні їм схеми підключення фаз навантаження до фаз мережі і позначення результуючих векторів вихідної напруги МПЧ зведені в табл. 3.1.

Амплітуда і напрям результуючого вектора напруги на виході МПЧ при заданому стані його ключів залежать від величини і напрямку вектора напруги живлячої мережі. Процеси формування вихідної напруги розглядатимемо в жорсткому зв'язку з напрямом вектора вхідної напруги МПЧ. Вплив вхідного фільтру поки що не враховуємо. Кутові положення векторів вхідної напруги $U_{вх}$ (U_A , U_B , U_C) і струму $I_{вх}$ (I_A , I_B , I_C) МПЧ визначатимемо відповідно до векторних діаграм напруги і струмів, зображених на рис.3.4. Вісі, зображені на діаграмах, визначають напрями фазних і лінійних векторів напруги мережі в деякий момент часу, прийнятий як початковий. Діаграма напруги розбита на дванадцять секторів, межі яких збігаються з вісями фазної і лінійної напруги. Діаграма струмів розбита на шість секторів, межі яких збігаються з вісями лінійних напруг. Кутові положення векторів напруги і струму в межах всієї діаграми визначатимемо відносно фази А живлячої мережі, а в межах робочого

сектора (сектора, в межах якого знаходиться відповідний вектор) – відносно межі сектора, прийнятої базовою.

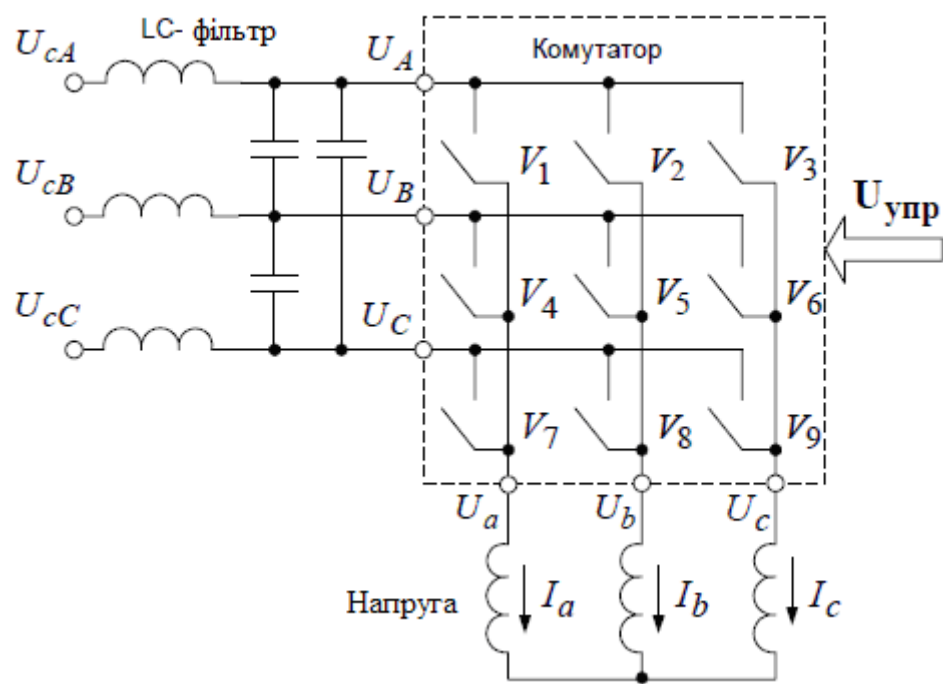
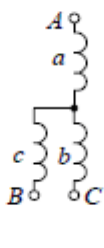
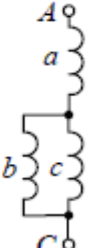
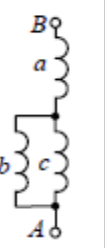
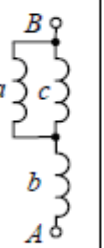
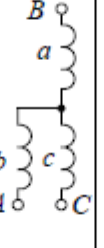
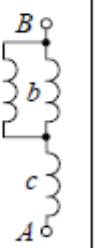
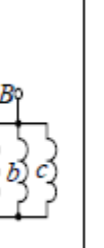
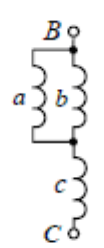
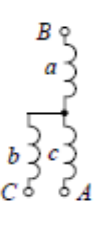
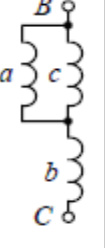
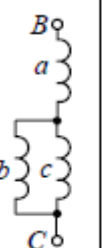
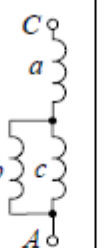
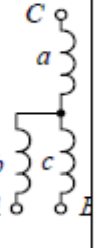
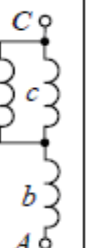
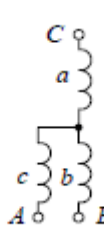
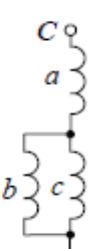
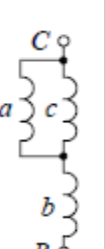
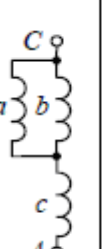
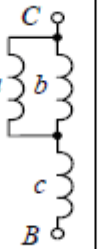
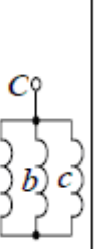


Рисунок 3.3– Структурна схема силової частини матричного перетворювача частоти

Таблиця 3.1– Стани МПЧ

Резуль- туючий вектор	U_{p1}	U_{p2}	U_{p3}	U_{p4}	U_{p5}	U_{p6}	U_{p7}
Активні ключі	V_1V_2 V_3	V_1V_2 V_6	V_1V_2 V_9	V_1V_5 V_3	V_1V_5 V_6	V_1V_5 V_9	V_1V_8 V_3
Схема підключен- ня напруги							

Продовж. табл. 3.1

Результуючий вектор	U_{p8}	U_{p9}	U_{p10}	U_{p11}	U_{p12}	U_{p13}	U_{p14}
Активні ключі	$V_1 V_8$ V_6	$V_1 V_8$ V_9	$V_4 V_2$ V_3	$V_4 V_2$ V_6	$V_4 V_2$ V_9	$V_4 V_5$ V_3	$V_4 V_5$ V_6
Схема підключення напруги							
Результуючий вектор	U_{p15}	U_{p16}	U_{p17}	U_{p18}	U_{p19}	U_{p20}	U_{p21}
Активні ключі	$V_4 V_5$ V_9	$V_4 V_8$ V_3	$V_4 V_8$ V_6	$V_4 V_8$ V_9	$V_7 V_2$ V_3	$V_7 V_2$ V_6	$V_7 V_2$ V_9
Схема підключення напруги							
Результуючий вектор	U_{p22}	U_{p23}	U_{p24}	U_{p25}	U_{p26}	U_{p27}	
Активні ключі	$V_7 V_5$ V_3	$V_7 V_5$ V_6	$V_7 V_5$ V_9	$V_7 V_8$ V_3	$V_7 V_8$ V_6	$V_7 V_8$ V_9	
Схема підключення напруги							

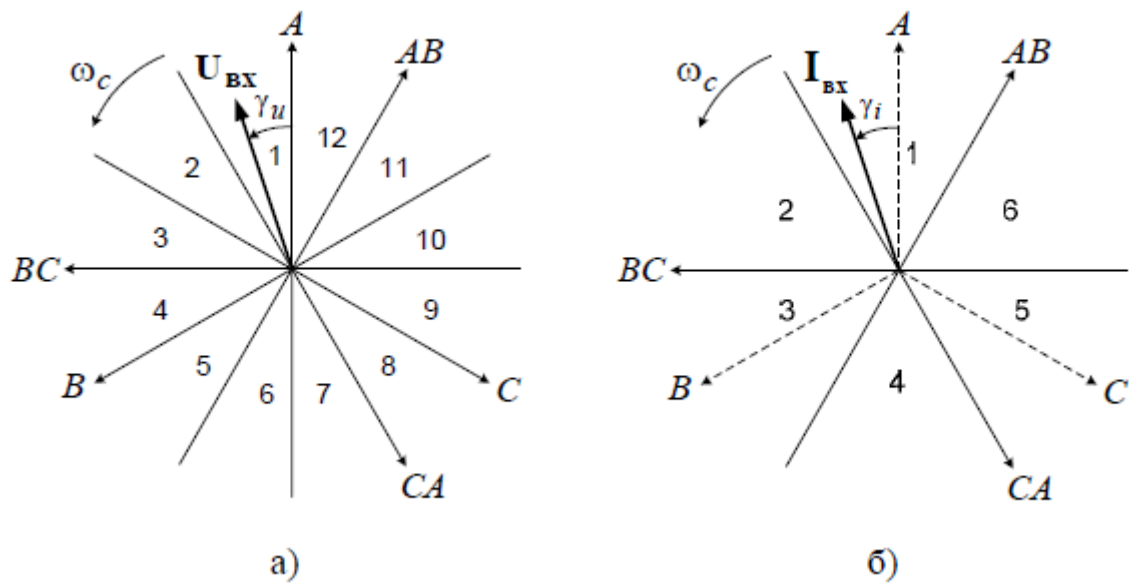


Рисунок 3.4– Векторні діаграми вхідної напруги (а)
і вхідних струмів (б) МПЧ

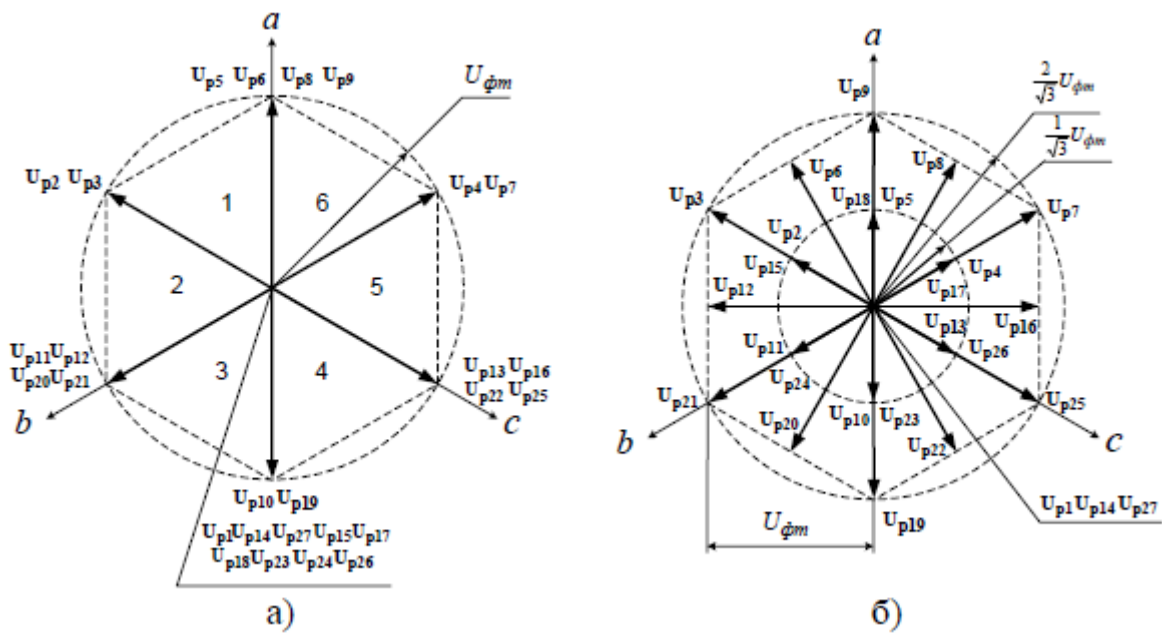


Рисунок 3.5– Векторні діаграми вихідних напруг МПЧ, які представлені у вигляді результуючих векторів: а – $\gamma_u = 0$; б – $\gamma_u = \pi / 6$

На рис.3.5 представлені векторні діаграми вихідних напруг МПЧ для двох положень вектора вхідної напруги: $\gamma_u = 0$; $\gamma_u = \pi / 6$. Діаграми побудовані в симетричних трьохфазних вісях (а,б,с), які орієнтовані по магнітним вісям

навантаження. Аналогічні діаграми можуть бути побудовані для будь-якого положення вектора вхідної напруги.

В результаті аналізу векторних діаграм все різноманіття вихідних векторів МПЧ можна розподілити на наступні групи:

1) групу нульових векторів: U_{p1} , U_{p14} , U_{p27} . Формуються при підключенні всіх фаз навантаження до однієї з фаз живлячої мережі;

2) групу симетричних твірних векторів прямої послідовності фаз

$$U_{p6} = U_{fm} e^{-j\omega_c t}; U_{p12} = U_{fm} e^{-j(\omega_c t - 2\pi/3)}; U_{p22} = U_{fm} e^{-j(\omega_c t - 4\pi/3)};$$

3) шість груп симетричних векторів, пульсуючих уздовж фазних вісей у функції часу:

$$U_{p18} = U_{1m}; U_{p24} = U_{1m} e^{j2\pi/3}; U_{p26} = U_{1m} e^{j4\pi/3};$$

$$U_{p10} = U_{2m}; U_{p4} = U_{2m} e^{j2\pi/3}; U_{p2} = U_{2m} e^{j4\pi/3};$$

$$U_{p19} = U_{3m}; U_{p7} = U_{3m} e^{j2\pi/3}; U_{p3} = U_{3m} e^{j4\pi/3};$$

$$U_{p23} = U_{4m}; U_{p17} = U_{4m} e^{j2\pi/3}; U_{p15} = U_{4m} e^{j4\pi/3};$$

$$U_{p5} = U_{5m}; U_{p11} = U_{5m} e^{j2\pi/3}; U_{p13} = U_{5m} e^{j4\pi/3};$$

$$U_{p9} = U_{6m}; U_{p21} = U_{6m} e^{j2\pi/3}; U_{p25} = U_{6m} e^{j4\pi/3};$$

де $U_{1m} \dots U_{6m}$ – амплітуди груп пульсуючих векторів, що обчислюються за наступним виразом

$$U_{im} = \frac{2}{\sqrt{3}} U_{fm} \sin\left(\omega_c t + (i-1)\frac{\pi}{3}\right), i = 1, 2, \dots, 6.$$

Алгоритм управління МПЧ повинен задовольняти наступним вимогам:

1. У максимально можливому діапазоні регулювання вихідної напруги потрібно забезпечити синусоїдальні закони зміни вихідної напруги і вхідного струму МПЧ.
2. Коефіцієнт зрушення вхідного струму відносно вхідної напруги МПЧ має бути рівним одиниці. Передбачається можливість регулювання коефіцієнта зрушення в заданому діапазоні.
3. При рівнях вихідних напруг, близьких до гранично досяжних, допускається плавний перехід в області роботи з відхиленням

від синусоїдального закону зміни вхідного струму і вихідної напруги.

4. Елементарна комбінація результуючих векторів напруги, яка використовується для формування вектора заданої напруги і закону зміни вхідного струму, повинна бути по можливості мінімізована по числу результуючих векторів, кількості комутацій в перетворювачі, величині пульсацій вихідного струму при заданій частоті перемикачів. Будь-яке відхилення від вказаних критеріїв оптимізації має бути обґрунтоване.

Процедура синтезу алгоритму управління МПЧ в рамках просторово-векторної стратегії з жорстко заданим законом комутації включає наступні етапи:

- 1) вибір складу і послідовності включення векторів елементарної комбінації в залежності від вектора заданої напруги, вектора напруги мережі і попередніх станів перетворювача;
- 2) розрахунок тимчасових інтервалів включення всіх векторів напруги, що входять в елементарну комбінацію.

Склад і послідовність векторів елементарної комбінації визначаються заздалегідь (поза реальним часом роботи перетворювача) для всіх можливих комбінацій вхідних умов, внаслідок чого формуються таблиці елементарних комбінацій векторів. Розрахунок тривалостей включення векторів здійснюється в реальному часі по заздалегідь заданому алгоритму.

1. Вибір складу і послідовності включення векторів напруги

Візьмемо до уваги, що використання при формуванні алгоритму управління обертаючих векторів прямої і зворотної послідовностей фаз, істотно ускладнює всю процедуру синтезу, вносить до неї додатковий елемент нерегулярності і практично не дає додаткових переваг з точки зору критеріїв, прийнятих при постановці завдання синтезу. Ці вектори відразу виключимо з розгляду на предмет вибору складу елементарної комбінації. Відомо [8], що для задоволення критерію мінімізації величини пульсацій вихідного струму потрібно обмежувати струмові похідні і, отже, вибирати склад елементарної комбінації результуючих векторів з векторів, що формують мінімальний

простір навколо кінця вектора заданої вихідної напруги МПЧ. Якщо виключити з розгляду групи обертаючих векторів, то такими просторами виявляються трикутники, вершинами яких є кінці результуючих векторів, орієнтованих по фазним вісям, які найближчі до напрямку вектора, який задається, або нульові результуючі вектори, які розміщені на початку координат. Надалі ці вектори називатимемо твірними. Наприклад, для випадку, який представлений на рис. 3.5,а, такими векторами є U_{p3} , U_{p9} , U_{p5} .

Якби йшлося лише про формування вихідної напруги МПЧ, то такий підхід до формування алгоритму управління міг бути цілком прийнятним. Проте для одночасного формування вхідного струму МПЧ цього не достатньо. Пізніше буде показано, що мінімально можливим набором твірних векторів для одночасного формування вихідної напруги і вхідного струму є чотири значущі вектори, які направлені уздовж меж сектора векторної діаграми напруг, в якому знаходиться вектор заданої напруги, і принаймні один з нульових векторів. Для випадку на рис.3.5,а в мінімальний набір входять значущі вектори U_{p3} , U_{p9} , U_{p5} , U_{p2} і принаймні один з нульових векторів U_{p1} , U_{p14} , U_{p27} . По критерію мінімізації числа перемикань (не більш за одне перемикання при переході до нового стану МПЧ) сформуємо з даного набору твірних векторів наступні їх комбінації в межах елементарного циклу повторюваності (елементарні комбінації):

$$U_{p9} - U_{p3} - U_{p2} - U_{p5} - U_{p14} - U_{p5} - U_{p2} - U_{p3} - U_{p9} - U_{p9} - U_{p27}; \quad (3.5)$$

$$U_{p9} - U_{p3} - U_{p1} - U_{p2} - U_{p5} - U_{p14} - U_{p5} - U_{p2} - U_{p1} - U_{p3} - U_{p9} - U_{p27}; \quad (3.6)$$

Повні елементарні цикли повторюваності обох послідовностей включення векторів складаються з двох елементарних напівциклів. Склад значущих векторів обох напівциклів однаковий, і формування середніх значень заданої вихідної напруги і вхідного струму повністю завершується в межах кожного з них. Відмінність напівциклів полягає в послідовності включення векторів (пряма/зворотна) і в типові нульового вектора, який завершує напівцикл. Вибір елементарної комбінації, складеної з двох елементарних напівциклів, забезпечує мінімізацію числа перемикань перетворювача. Якщо в якості

елементарної комбінації обрати будь-який з елементарних напівциклів, то число перемикачів на інтервалі формування середніх значень напруги і струму зростає в $7/5$ разу для комбінації (3.5) і в $4/3$ разу для комбінації (3.6).

Елементарна комбінація (3.6) відрізняється від комбінації (3.5) введенням додаткового нульового вектора напруги посередині кожного елементарного напівциклу. Це збільшує число перемикачів в межах елементарної комбінації з 10 до 12, проте в алгоритмі управління, побудованому на основі комбінації (3.6), з'являються наступні переваги порівняно з алгоритмом, побудованим на основі комбінації (3.5).

1. Кожен напівцикл комбінації (3.6) розбивається на дві елементарні трійки векторів, які включають в себе два однакових по амплітуді значущих вектора напруги, направлених уздовж меж сектора знаходження U_z , і один з нульових векторів напруги. Така структура елементарної комбінації стає більш зручною з точки зору реалізації алгоритму, а саме: зменшується з 5 до 3 кількість таймерів, необхідних для відліку тимчасових інтервалів видачі сигналів комутації ключів МПЧ з моменту початку нового напівциклу; трохи спрощується реалізація самого алгоритму, оскільки кожна елементарна трійка може формуватися незалежно від іншої.
2. З'являється додаткова можливість для мінімізації величини пульсацій вихідного струму за рахунок вибору оптимального співвідношення інтервалів включення двох нульових векторів напруги елементарного напівциклу.
3. Обмеження на мінімальну ширину імпульсу управління одним ключем МПЧ для алгоритму 2 виявляється виключно в обмеженні мінімальної тривалості включення нульових векторів напруги і, отже, не вносить кутової похибки до формованої напруги при попаданні в область обмежень. Похибка виявляється лише у відхиленні амплітуди формованого вектора напруги від її заданого значення і лише в області напруг, близьких до гранично досяжних. Для алгоритму 1 це обмеження

виявляється не лише в амплітудній, але і в кутовій помилці, яка з'являється при кожному переході вектора заданої напруги з сектора в сектор, оскільки на межах секторів тривалість включення одного із значущих векторів U_{p2} або U_{p3} повинна перетворюватися на нуль, що суперечить обмеженню на мінімальну ширину імпульсу управління. При цьому кутова похибка на межах секторів присутня при всіх рівнях напруги, яка задається.

Зважаючи на все вищесказане, в якості базової елементарної комбінації твірних векторів для представленого на рис.3.5,а розташування вектора U_z обираємо комбінацію (3.6). Для інших секторів розташування вектора U_z вибір елементарної комбінації твірних векторів здійснюється аналогічно. В результаті виконання першого етапу синтезу алгоритму управління МПЧ складається табл. 3.2 елементарних комбінацій твірних векторів залежно від номера сектора, в якому знаходиться вектор заданої вихідної напруги ($N_{secUz} = 1 \dots 6$), і номери сектора, в якому повинен знаходитися вектор вхідного струму ($N_{secI} = 1 \dots 6$).

Таблиця 3.2– Елементарні комбінації твірних векторів (напруга, представлена у вигляді послідовностей їх індексів)

$N_{sec I}$	$N_{sec Uz}$					
	1	2	3	4	5	6
1	9,3,1, 2,5,14	21,3,1, 2,11,14	21,19, 1,10,11, 14	25,19,1, 10,13, 14	25,7,1 4,13,14	9,7,1, 4,5,14
2	15,18, 27,9, 3,1	15,24, 27,21, 3,1	23,24, 27,21, 19,1	23,26, 27,25, 19,1	17,26, 27,25, 7,1	17,18, 27,9, 7,1
3	10,13, 14,15, 18,27	4,13,14, 15,24, 27	4,5,14, 23,24, 27	2,5,14, 23,26, 27	2,11,14, 17,26, 27	10,11, 14,17, 18,27
4	25,19, 1,10, 13,14	25,7,1, 4,13,14	9,7,1, 4,5,14	9,3,1, 2,5,14	21,3,1, 2,11,14	21,19,1, 10,11,14
5	23,26, 27,25, 19,1	17,26, 27,25, 7,1	17,18, 27,9, 7,1	15,18, 27,9, 3,1	15,24, 27,21, 3,1	23,24, 27,21, 19,1
6	2,5,14, 23,26, 27	2,11, 14,17, 26,27	10,11, 14,17, 18,27	10,13, 14,15, 18,27	4,13,14, 15,24, 27	4,5,14, 23,24,27

2. Розрахунок інтервалів включення векторів напруги

Визначення інтервалів включення векторів елементарної комбінації виконаємо на основі векторних розрахункових схем (рис.3.6), які узагальнюють принципи розрахунку для будь-якого сектора векторних діаграм вихідної напруги і вхідного струму. Узагальнена розрахункова схема формування вихідної напруги в межах сектора векторної діаграми, до якої можуть бути приведені всі можливі комбінації положень вхідного і вихідного векторів МПЧ, представлена на рис.3.6,а. Введемо в розгляд наступні нові поняття і позначення:

- U_1, U_2 – пара основних (максимальних по величині) твірних векторів сектора;
- U_3, U_4 – пара допоміжних (не максимальних) твірних векторів сектора;
- U_0 – нульовий твірний вектор (без врахування фактичного способу його формування);
- $U_1 - U_2 - U_0 - U_4 - U_3 - U_0$ – розрахункова елементарна комбінація векторів (відповідає одному напівциклу вибраного алгоритму без врахування фактичної послідовності включення векторів);
- пряма послідовність включення векторів в основній і допоміжній елементарних трійках: $U_1 - U_2 - U_0 ; U_3 - U_4 - U_0$;
- зворотна послідовність включення векторів в основній і допоміжній елементарних трійках: $U_2 - U_1 - U_0 ; U_4 - U_3 - U_0$;
- $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ – інтервали включення твірних векторів U_1, U_2, U_3, U_4 ;
- τ_{01}, τ_{02} – інтервали включення нульового вектора в основній і допоміжній елементарних трійках;
- базова межа сектора – межа, від якої відлічується кут α_{Usec} .

Вихідною інформацією для розрахунку інтервалів включення векторів є:

- вектор заданої вихідної напруги;
- вектор вхідної напруги;
- кут зміщення між вектором вхідної напруги і напрямом вектора вхідного струму, відповідним режиму споживання активної потужності з мережі. У даному окремому випадку рівний 0.

На основі вихідної інформації визначаються:

- амплітуда вектора заданої напруги U_z ;
- номер сектора заданої напруги $N_{\text{sec}U_z}$;
- кутове положення вектора заданої напруги в межах сектора векторної діаграми вихідних напруг $\alpha_{U_{\text{sec}}}$;
- лінійні вхідні напруги: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} ;
- номер сектора вхідної напруги $N_{\text{sec}U_z}$;
- амплітуди основних і допоміжних твірних векторів U_{v1} , U_{v2} ;
- номер сектора вхідного струму $N_{\text{sec}I}$;
- кутове положення вектора вхідного струму в межах сектора векторної діаграми струмів $\alpha_{I_{\text{sec}}}$.

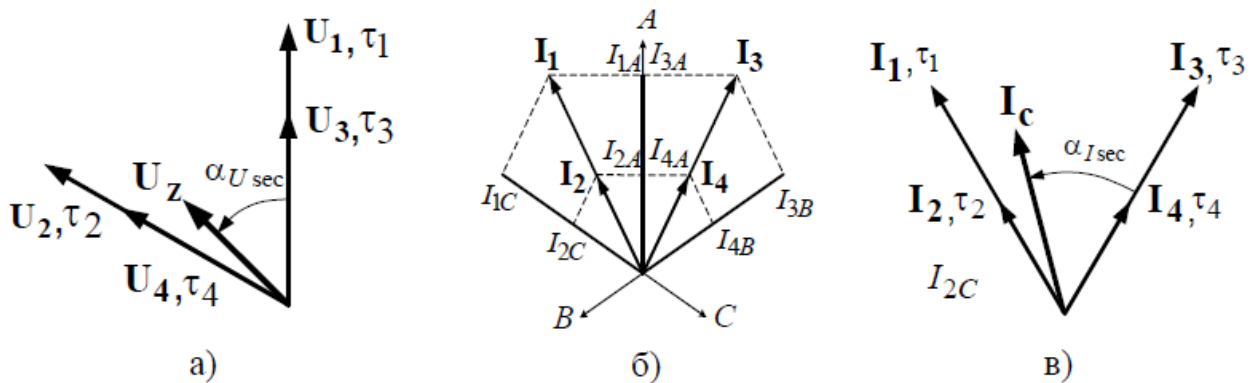


Рисунок 3.6– Векторні діаграми, що пояснюють алгоритм розрахунку інтервалів включення векторів елементарної комбінації:

- а – узагальнена розрахункова схема формування вихідної напруги;
- б – діаграма формування вхідних струмів;
- в – розрахункова схема струмів при $N_{\text{sec}U_z} = 1$, $N_{\text{sec}U_c} = 1$, $N_{\text{sec}I} = 1$

У якості прикладу знаходження відповідності між векторами розрахункових схем і реальними результуючими векторами МПЧ розглянемо випадок, коли вихідна напруга, вхідна напруга і вхідний струм знаходяться в перших секторах

своїх векторних діаграм: $N_{secUz} = 1$, $N_{secUc} = 1$, $N_{secl} = 1$. В цьому випадку матимемо наступну відповідність між напругами і струмами:

$$U_1 = U_{p9}; U_2 = U_{p3}; U_3 = U_{p5}; U_4 = U_{p2};$$

$$I_{1A} = I_a; I_{1B} = 0; I_{1C} = -I_a;$$

$$I_{2A} = -I_c; I_{2B} = 0; I_{2C} = I_c;$$

$$I_{3A} = I_a; I_{3B} = -I_a; I_{3C} = 0;$$

$$I_{4A} = -I_c; I_{4B} = I_c; I_{4C} = 0.$$

Результуючі вектори вхідних струмів формуються згідно рис.3.6,б. Розглянутому випадку відповідає розрахункова схема струмів, яка зображена на рис.3.6,в. З геометрії розрахункових схем на рис.3.6,а і 3.6,в легко отримати наступні співвідношення між інтервалами включення значущих результуючих векторів:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{\tau_3}{\tau_4} = \frac{\sin(\pi/3 - \alpha_{Usec})}{\sin(\alpha_{Usec})} = K_{sw1}; \quad (3.7)$$

$$\frac{\tau_3}{\tau_1} = \frac{\tau_4}{\tau_2} = \frac{\sin(\pi/3 - \alpha_{Isec})}{\sin(\alpha_{Isec})} = K_{sw2}; \quad (3.8)$$

де K_{sw1} , K_{sw2} – коефіцієнти відносної тривалості включення різнонаправлених і однонаправлених результуючих векторів напруги.

Щоб виключити невизначеність вигляду «ділення на нуль», вирази (3.7), (3.8) застосовуються за умови, що α_{Usec} , α_{Isec} належать інтервалу $[\pi/6 \dots \pi/3]$. Якщо α_{Usec} , α_{Isec} належать інтервалу $[0 \dots \pi/6]$, то для обчислення коефіцієнтів K_{sw1} , K_{sw2} замість (3.7), (3.8) використовуються зворотні їм вирази.

Виконаємо розрахунок граничного режиму роботи без нелінійних спотворень вихідної напруги і вхідних струмів МПЧ.

Для даного режиму справедливим є наступний вираз для періоду напівциклу управління:

$$T_c = \tau_{1m} + \tau_{2m} + \tau_{3m} + \tau_{4m}. \quad (3.9)$$

Інтервали включення значущих векторів граничного режиму обчислюються по наступних виразах, отриманих згідно (3.7) (3.8):

$$\tau_{1m} = \frac{T_c}{1 + K_{sw1} + K_{sw2} + K_{sw1}K_{sw2}}; \tau_{2m} = K_{sw1}\tau_{1m};$$

$$\tau_{3m} = K_{sw2}\tau_{1m}; \tau_{4m} = K_{sw2}\tau_{2m}$$

при $\alpha_{Usec} = [0 \dots \pi/6[$, (3.10)

$$\tau_{2m} = \frac{T_c}{1 + K_{sw1} + K_{sw2} + K_{sw1}K_{sw2}}; \tau_{1m} = K_{sw1}\tau_{2m};$$

$$\tau_{3m} = K_{sw2}\tau_{1m}; \tau_{4m} = K_{sw2}\tau_{2m}$$

при $\alpha_{Usec} = [\pi/6 \dots \pi/3]$.

Граничне значення еквівалентного (усередненого на напівциклі управління) значення вихідної напруги перетворювача

$$U_{max} = (U_{max1}(\tau_{1m} + \tau_{2m}) + U_{max2}(\tau_{3m} + \tau_{4m})) / T_c, \quad (3.11)$$

де U_{max1} , U_{max2} – граничні еквівалентні напруги для основних і допоміжних твірних векторів в заданому напрямі формування вихідного вектора напруги, що обчислюється за виразами

$$U_{max1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_{v1}}{\cos(\alpha_{Usec} - \pi/6)};$$

$$U_{max2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_{v2}}{\cos(\alpha_{Usec} - \pi/6)}. \quad (8.8)$$

Амплітуди основних і допоміжних твірних векторів (U_{v1} , U_{v2}) обчислюються на основі інформації про номер сектора вхідної напруги МПЧ відповідно до табл. 3.3.

Таблиця 3.3– Формули обчислення амплітуд твірних векторів

$N_{\text{sec}U_c}$	U_{v1}	U_{v2}
1,7	$\frac{2}{3} U_{CA} $	$\frac{2}{3} U_{AB} $
2,8	$\frac{2}{3} U_{CA} $	$\frac{2}{3} U_{BC} $
3,9	$\frac{2}{3} U_{BC} $	$\frac{2}{3} U_{CA} $
4,10	$\frac{2}{3} U_{BC} $	$\frac{2}{3} U_{AB} $
5,11	$\frac{2}{3} U_{AB} $	$\frac{2}{3} U_{BC} $
6,12	$\frac{2}{3} U_{AB} $	$\frac{2}{3} U_{CA} $

Розрахунок інтервалів включення твірних векторів може виконуватися по трьом різним варіантам залежно від співвідношення амплітуди заданої напруги і граничних еквівалентних значень вихідної напруги. Для усіх варіантів розрахунку справедливе вираження

$$T_c = \tau_1 + \tau_2 + \tau_{01} + \tau_3 + \tau_4 + \tau_{02}. \quad (3.13)$$

Варіант 1. Якщо виконується умова

$$U_z \leq U_{\max} \frac{T_c - 2\tau_{\min}}{T_c}, \quad (3.14)$$

де $\tau_{\min}$ – мінімально допустима ширина імпульсу перемикавання силового ключа МПЧ, то вихідна напруга і вхідний струм формуються без спотворень (вектор еквівалентного вихідного напруга і кутове положення вектора вхідного струму строго відповідають своїм заданим значенням). Розрахунки виконуються таким чином

1) Сумарна величина нульових інтервалів напівциклу

$$\tau_{\text{sum}0} = (1 - U_z / U_{\max}) T_c. \quad (3.15)$$

2) Інтервали включення значущих векторів

$$\tau_1 = \frac{T_c - \tau_{\text{sum}0}}{T_c} \tau_{1m}; \tau_2 = K_{\text{sw}1} \tau_1; \tau_3 = K_{\text{sw}2} \tau_1;$$

$$\tau_4 = K_{\text{sw}2} \tau_2$$

при $\alpha_{Usec} = [0 \dots \pi/6[$; (3.16)

$$\tau_2 = \frac{T_c - \tau_{sum0}}{T_c} \tau_{2m}; \tau_1 = K_{sw1} \tau_2; \tau_3 = K_{sw2} \tau_1;$$

$$\tau_4 = K_{sw2} \tau_2$$

при $\alpha_{Usec} = [\pi/6 \dots \pi/3[$.

3) Інтервали включення нульових векторів розраховуються виходячи з умови рівності еквівалентної напруг елементарних трійок, що входять в елементарний напівцикл, що забезпечує мінімізацію пульсацій вихідного струму при заданій частоті перемикачів:

$$\tau_{01} = \frac{(\tau_1 + \tau_2)((\tau_3 + \tau_4)(U_{max1} - U_{max2}) + U_{max1} \tau_{sum0})}{U_{max1}(\tau_1 + \tau_2) + U_{max2}(\tau_3 + \tau_4)};$$

$$\tau_{02} = \tau_{sum0} - \tau_{01}.$$
(3.17)

Варіант 2. Якщо виконується умова

$$U_{max} \frac{T_c - 2\tau_{min}}{T_c} < U_z \leq U_{max1} \frac{T_c - 2\tau_{min}}{T_c},$$
(3.18)

то вихідна напруга формується без спотворень, а кутове положення вектора вхідного струму може відхилятися від заданого значення. Розрахунок інтервалів включення векторів виконується так, щоб відхилення кутового положення вектора вхідного струму від свого заданого значення було мінімальним.

1) Інтервали включення нульових векторів прирівнюються мінімально допустимій ширині імпульсу управління силовими ключами перетворювача:

$$\tau_{01} = \tau_{min}; \tau_{02} = \tau_{min}.$$
(3.19)

2) Якщо виконується умова $U_{max1} - U_{max2} \geq \Delta U$, де ΔU – мала величина допустимого відхилення від заданої напруги, то розрахунок інтервалів включення значущих векторів напруги виконується таким чином:

$$\tau_1 = \tau_{sum1} / (1 + K_{sw1}) ; \tau_2 = \tau_{sum1} - \tau_1 ;$$

$$\tau_3 = \tau_{sum2} / (1 + K_{sw1}) ; \tau_4 = \tau_{sum2} - \tau_3$$

при $\alpha_{Usec} = [0 \dots \pi/6[$; (3.20)

$$\tau_2 = \tau_{sum1} / (1 + K_{sw1}) ; \tau_1 = \tau_{sum1} - \tau_2 ;$$

$$\tau_4 = \tau_{sum2} / (1 + K_{sw1}) ; \tau_3 = \tau_{sum2} - \tau_4$$

при $\alpha_{Usec} = [\pi/6 \dots \pi/3[$,

де

$$\tau_{sum1} = \frac{U_z T_c - U_{max2} (T_c - 2\tau_{min})}{U_{max1} - U_{max2}} ;$$

$\tau_{sum2} = T_c - 2\tau_{min} - \tau_{sum1}$ – сумарні інтервали включення основних і допоміжних твірних векторів.

3) Якщо умова $U_{max1} - U_{max2} \geq \Delta U$ не виконується, то точність розрахунку по п.2 стає незадовільною і розрахунок інтервалів включення значущих векторів виконується за формулами (3.16) за умови, що $\tau_{sum0} = 2\tau_{min}$.

Варіант 3. Якщо виконується умова

$$U_z > U_{max1} \frac{T_c - 2\tau_{min}}{T_c} , \quad (3.21)$$

то вихідна напруга і напрям вектора вхідного струму формуються з вимушеним відхиленням від їх заданих значень. У цьому режимі з алгоритму управління повністю виключається допоміжна елементарна трійка векторів і для формування алгоритму використовуються лише основні (максимальні) твірні вектори. Розрахунок інтервалів включення векторів виконується таким чином:

$$1) \tau_3 = 0 ; \tau_4 = 0 ; \tau_{02} = 0 .$$

$$2) \tau_{01} = (1 - \frac{U_z}{U_{max1}}) T_c ; \text{ если } \tau_{01} < \tau_{min} \text{ то } \tau_{01} = \tau_{min} .$$

$$3) \tau_1 = \frac{T_c - \tau_{01}}{1 + K_{sw1}} ; \tau_2 = T_c - \tau_{01} - \tau_1 \text{ при } \alpha_{Usec} = [0 \dots \pi/6[;$$

$$\tau_2 = \frac{T_c - \tau_{01}}{1 + K_{sw1}} ; \tau_1 = T_c - \tau_{01} - \tau_2 \text{ при } \alpha_{Usec} = [\pi/6 \dots \pi/3[.$$

У формування алгоритму управління МПЧ, окрім розглянутих вище, входять наступні операції:

1. Призначення відповідності між вектором напруги і тривалістю його включення. Розрахунок інтервалів включення векторів напруги за розрахунковими схемами рис.3.6 виконується безвідносно до їх фактичної послідовності включення у формованому елементарному напівциклі. Всього можливо чотири варіанти дотримання векторів в межах одного і того ж їх складу, вибраного по таблиці. 3.2 і мінімізованого по числу перемикачів перетворювача.

Варіант 1. Пряма послідовність елементарних трійок (спочатку основна, потім допоміжна) і пряма послідовність векторів в першій елементарній трійці

$$U_1 - U_2 - U_{01} - U_4 - U_3 - U_{02}.$$

Варіант 2. Пряма послідовність елементарних трійок і зворотна послідовність векторів в першій елементарній трійці:

$$U_2 - U_1 - U_{01} - U_3 - U_4 - U_{02}.$$

Варіант 3. Зворотна послідовність елементарних трійок і пряма послідовність векторів в першій елементарній трійці:

$$U_3 - U_4 - U_{02} - U_2 - U_1 - U_{01}.$$

Варіант 4. Зворотна послідовність елементарних трійок і зворотна послідовність векторів в першій елементарній трійці:

$$U_4 - U_3 - U_{02} - U_1 - U_2 - U_{01}.$$

Послідовність елементарних трійок кожного разу змінюється на протилежну при переході до нового напівциклу. Послідовність векторів в першій елементарній трійці визначається наступним логічним виразом

$$OrderV = [(Odd(N_{sec I}))and (Odd(N_{sec Uz}))]or \\ [(\overline{Odd(N_{sec I}))}and (\overline{Odd(N_{sec Uz}))})],$$

де $Odd(x)$ – функція, що повертає логічну одиницю при непарному значенні свого цілочисельного аргументу X .

2. Призначення відповідності між комбінаціями векторів напруги і станами силових ключів МПЧ. Виконується відповідно до табл. 3.1.
3. Розрахунок інтервалів комутації ключів МПЧ в межах формованого елементарного напівциклу векторів напруги, які відлічуються від моменту закінчення попереднього напівциклу.
4. Формування імпульсів управління всіма активними елементами (транзисторами) перетворювача, зокрема, згідно з методом чотирьохетапної комутації для двонаправлених силових ключів з загальним колектором.

3.3 Синтез параметрів регулювальників

В основу синтезу системи векторного керування покладена математична модель асинхронного двигуна в системі координат (d, q) , орієнтованої по вектору потокозчеплення ротора.

Функціональна схема системи керування представлена на рис.3.7.

Система керування реалізована на мікропроцесорному контролері керування двигуном ADMC401 фірми «Аналог дивайс».

Інформація про вектор потокозчеплення ротора (його модуль (Ψ_r) , кутове положення щодо фази А статора (φ_Ψ) миттєва частота обертання (ω_Ψ)) обчислюється в моделі роторного ланцюга по наступних рівняннях:

$$T_r \frac{d\Psi_r}{dt} = -\Psi_r + L_m I_d$$

$$\omega_{\psi} = \omega_{re} + \omega_{ck} = Z_p \omega_r + \frac{L_m}{T_r} \frac{I_q}{\Psi_r};$$

$$\varphi_{\psi} = \int \omega_{\psi} dt = \int Z_p \omega_r dt + \int \omega_{ck} dt = Z_p \varphi_r + \int \omega_{ck} dt. \quad (3.22)$$

Структурна схема моделі роторного кола зображена на рис.3.8.

$$I_d = \frac{2}{\sqrt{3}} [I_A \sin(\varphi_{\psi} + \frac{\pi}{3}) + I_B \sin(\varphi_{\psi})];$$

$$I_q = \frac{2}{\sqrt{3}} [I_A \cos(\varphi_{\psi} + \frac{\pi}{3}) + I_B \cos(\varphi_{\psi})]. \quad (3.23)$$

Перетворювач координат $ABC \rightarrow dq$ виконує перетворення фазних струмів статора АД із природної трифазної системи координат $(A,B,3)$ в ортогональну синхронну систему координат (d,q) по рівняннях

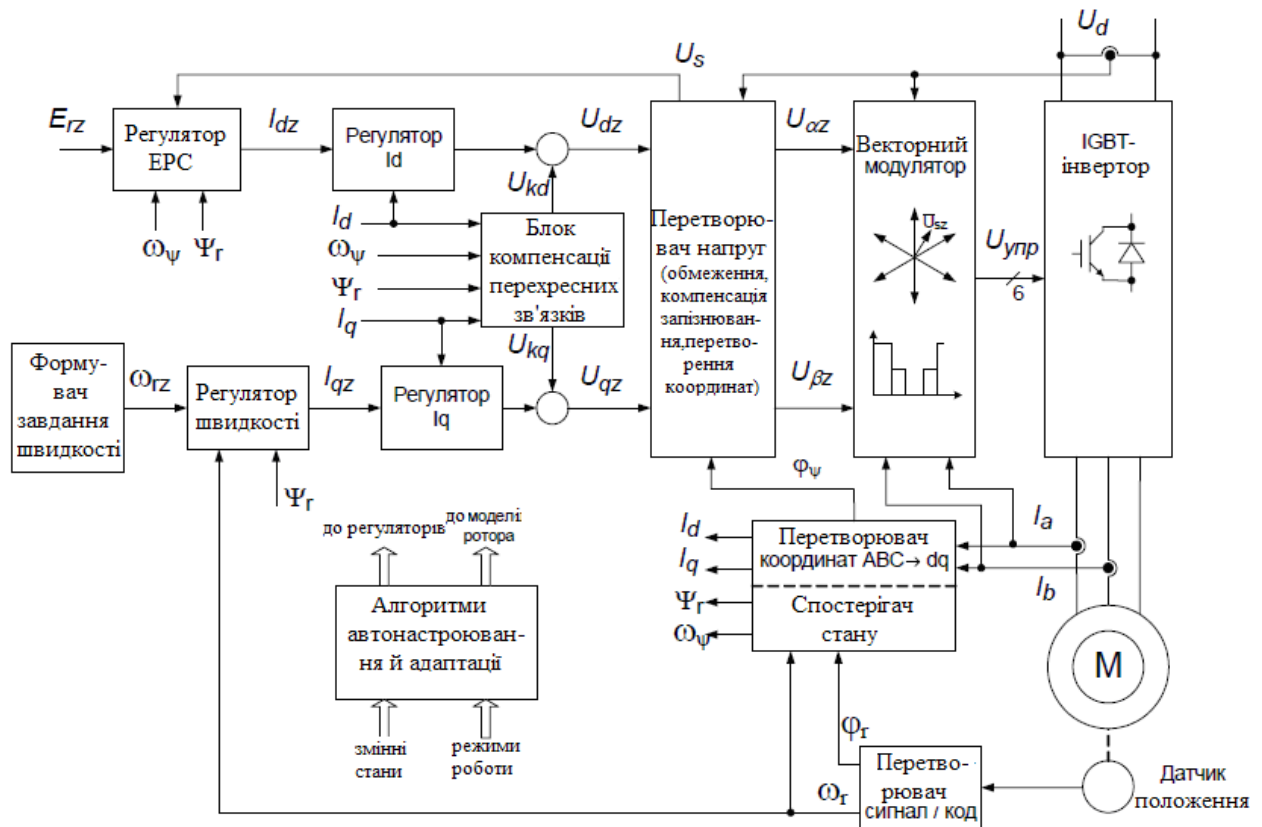


Рисунок 3.7– Функціональна схема системи векторного керування приводом серії ЕПВ

Перетворювач напруг реалізує функції обмеження максимального значення заданої напруги, зворотного перетворення координат і компенсації запізнювання, внесеного системою керування.

Алгоритм роботи обмежувача напруги організований таким чином, щоб у всіх режимах роботи приводу величина заданої вихідної напруги інвертора не перевищувала його максимального значення з урахуванням фактичного значення вхідної напруги інвертора (U_d) і обмежень, пов'язаних з неідеальністю силових ключів.

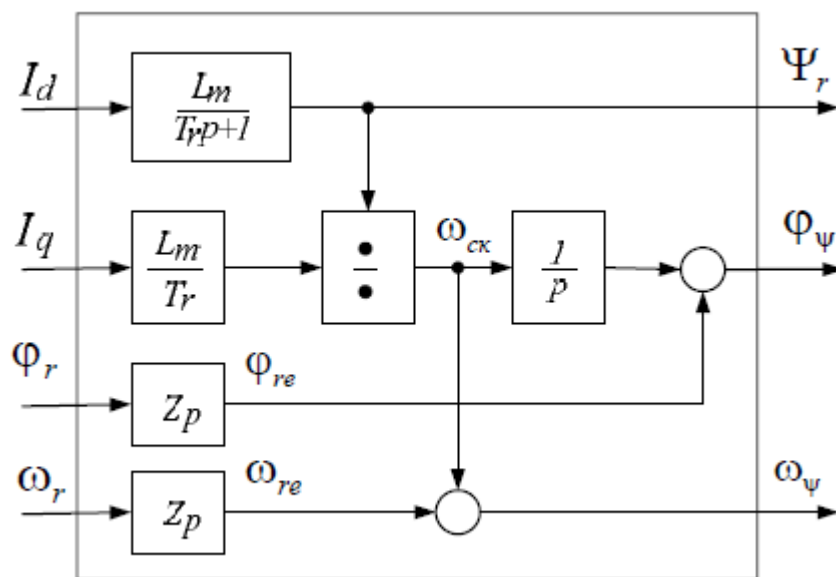


Рисунок 3.8– Структурна схема моделі роторного ланцюга

Алгоритм обмежувача напруги можна представити у вигляді блок- схеми (рис.3.9).

При роботі приводу в умовах обмеження напруги канал осі d має пріоритет перед каналом осі q , тобто в першу чергу забезпечується бажаний рівень потокозчеплення, а вже потім формується необхідний електромагнітний момент. Дана логіка забезпечує коректне функціонування приводу в другій зоні регулювання швидкості (нагору від номінальної).

Позначення на рисунку: U_{sz} – амплітуда вектора заданої напруги статора; $U_{s \max}$ – максимальне значення вихідної напруги інвертора, що обчислюється по виразу

$$U_{s \max} = \frac{U_d T_m - t_{0 \min}}{\sqrt{3} T_m} \quad (3.24)$$

де U_d – вхідна напруга інвертора, вимірювана за допомогою датчика напруги, встановленого в ланці постійної напруги перетворювача частоти; T_m – період модуляції вихідної напруги інвертора; $t_{0 \min}$ – мінімально припустима ширина імпульсу керування ключами інвертора, обумовлена їх швидкістю.

Зворотнє перетворення заданих напруг статора із системи координат (d, q) у систему (α, β) виконується по рівняннях

$$\begin{aligned} U_{\alpha z} &= U_{dz} \cos \varphi_\psi - U_{qz} \sin \varphi_\psi \\ U_{\beta z} &= U_{dz} \sin \varphi_\psi + U_{qz} \cos \varphi_\psi \end{aligned} \quad (3.25)$$

Алгоритм компенсації запізнювання формує кутове положення вектора заданої напруги φ_u з урахуванням кутового запізнювання, внесеного системою керування.

Векторний модулятор перетворить напруги статора, задані в системі координат (α, β) , в імпульси керування ключами інвертора на основі методу векторного формування ШІМ.

Блок компенсації перехресних зв'язків формує сигнали, що компенсують вплив перехресних зв'язків на процеси в контурах регулювання складового вектора струму статора, відповідно до виразів

$$\begin{aligned} U_{kd} &= \frac{1}{k_{mч}} \left(-\sigma L_s \omega_\psi I_q + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\Psi_r}{dt} \right); \\ U_{kq} &= \frac{1}{k_{mч}} \left(\sigma L_s \omega_\psi I_d + \frac{L_m}{L_r} \omega_\psi \Psi_r \right), \end{aligned} \quad (3.26)$$

де $k_{mч}$ – коефіцієнт передачі перетворювача частоти (ПЧ) по амплітуді напруги.

Регулятори активної (I_q) і реактивної (I_d) складових струму статора забезпечують бажаний характер процесів в обох каналах регулювання.

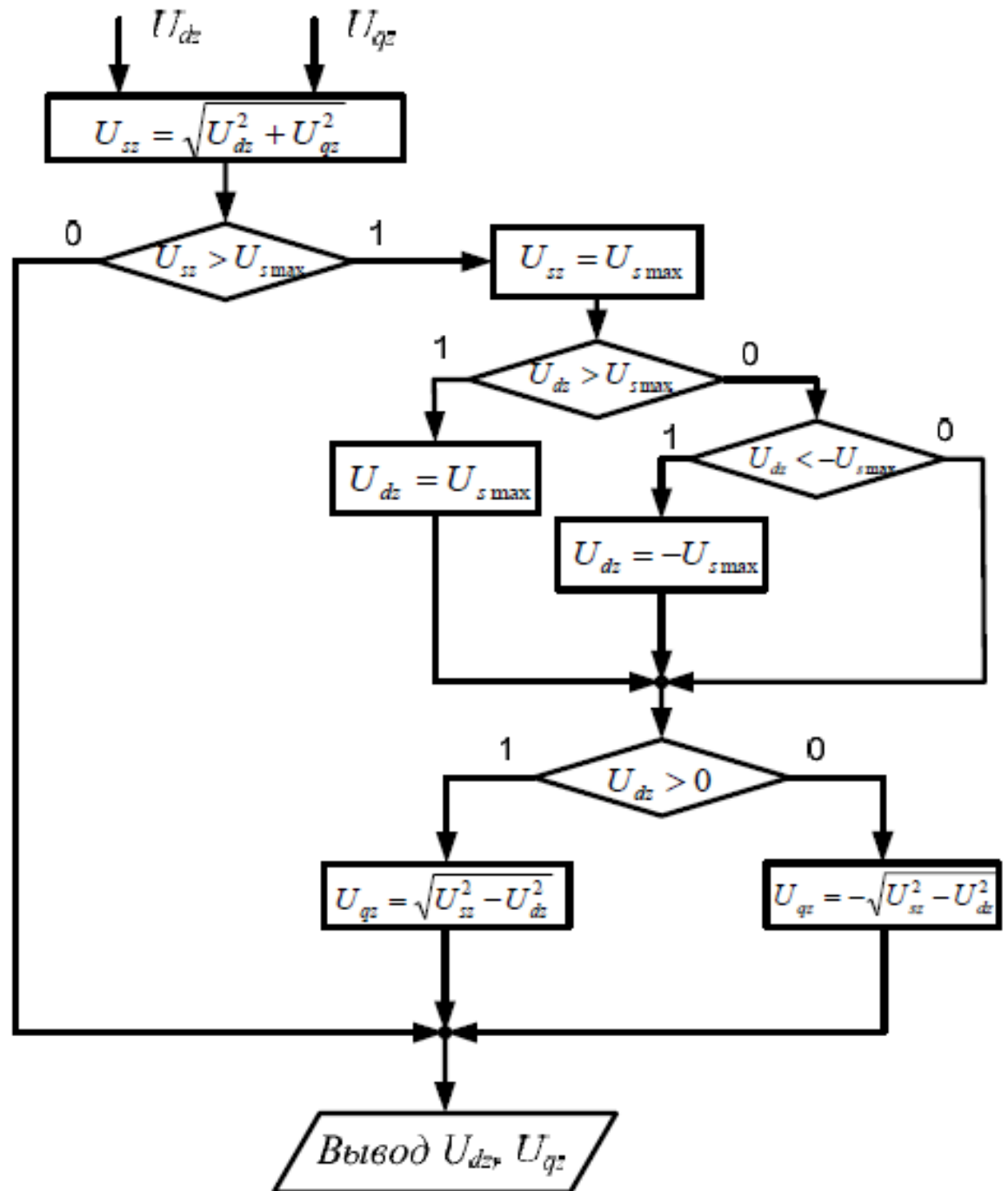


Рисунок 3.9– Алгоритм обмеження напруги

Синтез регуляторів струму

Синтез регулятора виконаємо при наступних допущеннях:

- 1) орієнтація по Ψ_r виконана ідеально;
- 2) $|\Psi_r| = \text{const}$ ($I_d = \text{const}$);
- 3) вплив перехресних зв'язків скомпенсовано подачею відповідних сигналів на вихід регулятора;

4) динаміка перетворювача частоти (ПЧ) по каналу q приблизно описується лінійною ланкою чистого запізнювання на період модуляції:

$$H_{nч}^q(p) = k_{nч} \cdot e^{-T_m p} \approx \frac{k_{nч}}{T_m p + 1},$$

де $p = d/dt$ – оператор диференціювання;

5) швидкодія контуру струму й період дискретності розрахунку його керуючих впливів співвідносяться таким чином, що наступна дискретизація регулятора струму, синтезованого в безперервному часі, істотно не впливає на якість перехідних процесів.

Структурна схема контуру струму по осі q представлена на рис. 3.10. Пунктиром позначені перехресні зв'язки й сигнали їхньої компенсації. T_{km} – мала постійна часу контуру струму, що не компенсується, що включає T_m і інші малі часові затримки та постійні часу, що входять у замкнутий контур струму, зокрема постійну часу фільтра датчика струму; $T_s = \sigma L_s / R_s$ – постійна часу статорного ланцюга; $k_{\partial m}$ – коефіцієнт передачі датчика струму.

Настроювання контуру струму зробимо на стандартний перехідний процес, що відповідає фільтру Баттерворта 2-го порядку, швидкодія якого визначається малою постійною часу T_{km} , що не компенсується. Передатна функція такого фільтра має вигляд

$$H_B(p) = \frac{1}{2T_{km}^2 p^2 + 2T_{km} p + 1}$$

або для розімкнутого контуру

$$H_B^{раз}(p) = \frac{1}{2T_{km}^2 p^2 + 2T_{km} p} = \frac{1}{2T_{km} p (T_{km} p + 1)} \quad (3.27)$$

Передатна функція розімкнутого контуру струму має вигляд

$$H_B^{раз}(p) = H_{pm}(p) \frac{k_{nч} k_{\partial m}}{R_s (T_{km} p + 1) (T_s p + 1)} \quad (3.28)$$

Дорівнюючи (3.27) і (3.28), одержимо передатну функцію регулятора струму:

$$H_{pm}(p) = \frac{T_s p + 1}{(2T_{km} k_{nc} k_{dm} / R_s) p} = k_p + \frac{k_i}{p},$$

$$\text{где } k_p = \frac{\sigma L_s}{2T_{km} k_{nc} k_{dm}}, \quad k_i = \frac{R_s}{2T_{km} k_{nc} k_{dm}}. \quad (3.29)$$

Таким чином, одержали ІІІ- регулятор струму по осі q . Передатна функція замкнутого контуру струму прийме вигляд

$$H_{km}(p) = \frac{1/k_{dm}}{2T_{km}^2 p^2 + 2T_{km} p + 1} \quad (3.30)$$

що відповідає стандартному перехідному процесу з перерегулюванням 4,3 % і часом регулювання $3\sqrt{2} T_{km}$.

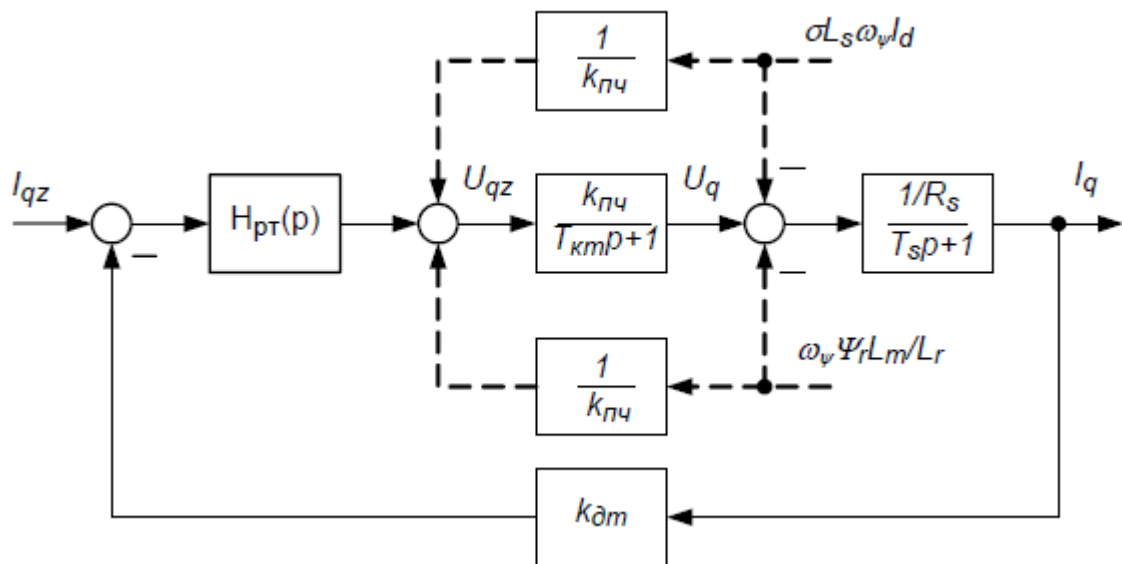


Рисунок 3.10– Структурна схема контуру струму по осі q

Дискретизація процесів у регуляторі виконується на основі одного з методів наближеного інтегрування, наприклад методу трапецій.

Синтез регулятора струму по осі d виконується аналогічно. Структура та параметри регулятора струму по осі d повністю збігаються зі структурою й параметрами регулятора по осі q . Різнитися можуть лише обмеження їхніх вихідних сигналів. Граничні значення обмежень вихідних сигналів регуляторів струму визначаються по формулі (3.24), де в якості U_d використовується його номінальне значення. Помітимо, що у зв'язку з наявністю в структурі приводу

блоку компенсації перехресних зв'язків значення цих обмежень можуть бути істотно нижче граничних.

Синтез регулятора швидкості

Формування завдання по активній складовій струму статора здійснюється в замкнутому контурі регулювання швидкості електропривода. Розглянемо процедуру синтезу регулятора швидкості для приводу з твердою механікою, що описується рівнянням

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = M - M_c \quad (3.31)$$

де J , M_c – момент інерції й момент навантаження, наведені до валу АД.

При синтезі регулятора швидкості врахуємо наступне:

1) виконаний раніше синтез процесів у контурі моменту (активній складовій струму) дозволяє приблизно описати динаміку контуру струму по осі q аперіодичною ланкою 1-го порядку:

$$H_{km}(p) \approx \frac{1/k_{\partial m}}{2T_{km}p+1} \quad (3.32)$$

2) швидкодія контуру швидкості та період дискретності розрахунку співвідносяться таким чином, що наступна дискретизація регулятора швидкості, синтезованого в безперервному часі, істотно не впливає на якість перехідних процесів;

3) у контурі швидкості повинен бути забезпечений астатизм до постійного впливу, що обурює.

Структурна схема контуру швидкості представлена на рис. 3.11. Блок розподілу (зображений пунктиром) включений для здійснення структурної лінеаризації контуру швидкості, що забезпечує сталість його коефіцієнта передачі при зміні модуля потокозчеплення. $k_{\partial c}$ – коефіцієнт передачі датчика швидкості; $H_{\phi c}(p)$ – передатна функція фільтра датчика швидкості.

Настроювання регулятора швидкості виконаємо на симетричний оптимум, що відповідає наступній передатній функції розімкнутого контуру швидкості:

$$W_{роз}(p) = \frac{4T_{ки} p + 1}{8T_{ки}^2 p^2 (T_{ки} p + 1)} \quad (3.33)$$

де $T_{кc}$ – мала постійна часу контуру швидкості, що не компенсується, що включає $2T_{km}$ відповідно до (3.32) і інші малі часові затримки та постійні часу, що входять у замкнутий контур швидкості, зокрема постійну часу фільтра датчика швидкості.

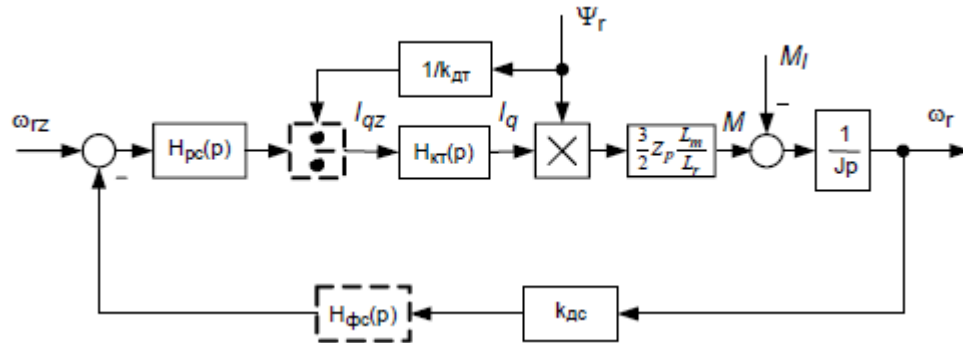


Рисунок 3.11– Структурна схема контуру швидкості

Передатна функція розімкнутого контуру швидкості з урахуванням схемної лінеаризації

$$H_{кc}^{раз}(p) = H_{pc}(p) \frac{3Z_p L_m k_{дс}}{2JL_r k_{дт} (T_{кc} p + 1) p} \quad (3.34)$$

Дорівнюючи (3.33) і (3.34), одержимо передатну функцію регулятора швидкості:

$$H_{pc}(p) = \frac{JL_r k_{дт} (4T_{кc} p + 1)}{12Z_p L_m k_{дс} T_{кc}^2 p} = k_{\omega p} + \frac{k_{\omega i}}{p},$$

где $k_{\omega p} = \frac{JL_r k_{дт}}{3Z_p L_m k_{дс} T_{кc}}$, $k_{\omega i} = \frac{JL_r k_{дт}}{12Z_p L_m k_{дс} T_{кc}^2}$.

(3.35)

Таким чином, одержали Пі-регулятор швидкості. Передатна функція замкнутого контуру швидкості прийме вигляд

$$W_{ки}(p) = \frac{(4T_{ки} p + 1) / k_{дт}}{8T_{ки}^3 p^3 + 8T_{ки}^2 p^2 + 4T_{ки} p + 1} \quad (3.36)$$

Щоб одержати в контурі швидкості процеси, що відповідають стандартному фільтру Баттерворта 3-го порядку (перерегулювання – 8 %, час

регулювання – $12T_{kc}$), на його вхід включається НЧ-фільтр першого порядку з передатною функцією

$$H_{\phi}(p) = \frac{1}{4T_{kc}p+1} \quad (3.37)$$

Різницеве рівняння вхідного фільтра, отримане на основі точного аналітичного рішення його диференціального рівняння, що описує, запишеться у вигляді

$$\omega_{fz_{k+1}} = k_{f1} \cdot \omega_{fz_k} + k_{f2} \cdot \omega_{zk+1},$$

где $k_{f1} = \exp(-\frac{T_{\omega 0}}{4T_{kc}})$, $k_{f2} = 1 - \exp(-\frac{T_{\omega 0}}{4T_{kc}})$ (3.38)

– коефіцієнти різницевого рівняння фільтра ($T_{\omega 0}$ – період дискретності розрахунку процесів у конурі швидкості); ω_{zk+1} , $\omega_{fz_{k+1}}$ – вхідний і вихідний сигнали фільтра на інтервалі розрахунку $k+1$.

Обмеження вихідного сигналу регулятора швидкості розраховується виходячи із заданої кратності перевантаження приводу по моменту k_m по формулі

$$I_{qz \max} = k_M \sqrt{2I_{s \text{ nom}}^2 - I_{d \text{ nom}}^2},$$

де $I_{s \text{ nom}}$ – номінальний струм двигуна (діюче значення).

Формування заданого струму статора по осі d

У найпростішому випадку, коли привод працює тільки в першій зоні регулювання швидкості ($\omega_r < \omega_{\text{nom}}$) при дотриманні закону $\Psi_r = \text{const}$, формувач завдання по реактивній складовій струму вироджується в задатчик сигналу постійного рівня, як правило, що відповідає номінальному рівню потокозчеплення ротора:

$$I_{dz} = I_{d \text{ nim}} = \Psi_{r \text{ nim}} / L_m \quad (3.39)$$

Зміна потокозчеплення в процесі роботи приводу потрібно в наступних випадках:

1) при регулюванні швидкості в другій зоні (нагору від номінальної);

2) при регулюванні швидкості на рівні, близькому до номінального в умовах перевантаження по моменту та відсутності необхідного запасу по напрузі живлення;

3) при оптимізації процесів у приводі за певними критеріями, зокрема енергетичним.

Формування завдання по реактивній складовій струму в умовах наявності функції ослаблення поля при роботі в другій зоні регулювання швидкості може здійснюватися відповідно до виразу

$$I_{dz} = \begin{cases} I_{d\text{ ном}} , \text{ якщо } |\omega_{\psi}| \leq \omega_{\psi\text{ ном}}; \\ I_{d\text{ ном}} \frac{\omega_{\psi\text{ ном}}}{|\omega_{\psi}|} , \text{ якщо } |\omega_{\psi}| > \omega_{\psi\text{ ном}}. \end{cases} \quad (3.40)$$

Вимога до формування бажаних динамічних властивостей приводу при роботі в умовах ослаблення поля приводить до доцільності формування I_{dz} у замкнутому контурі стабілізації ЕДС (напруги статора). Розглянемо процедуру синтезу процесів у контурі ЕДС. dz

Синтез регулятора ЕДС виконаємо при наступних умовах:

- 1) відсутній внутрішній контур регулювання потокозчеплення ротора;
- 2) відсутня структурна лінеаризація контуру ЕДС;
- 3) динаміка контуру струму по осі d приблизно описується виразом

$$H_{km}(p) \approx \frac{1/k_{dm}}{2T_{km}p+1}$$

4) синтез регулятора ЕДС припустимо виконувати в безперервному часі з наступною дискретизацією алгоритму його реалізації;

5) у розглянутих режимах роботи приводу трансформаторна складова ЕДС істотно менше ЕДС обертання і їй припустимо зневажити.

Структурна схема контуру ЕДС представлена на рис. 3.12. $T_{кз}$ – мала постійна часу контуру ЕДС, що не компенсується, обирає з умови $T_{кз} \geq 2T_{км}$. Настроювання нелінійного контуру ЕДС виконаємо на модульний оптимум за умови $\omega_{\psi} = \omega_{\psi\text{ max}}$, де $\omega_{\psi\text{ max}}$ – граничне значення частоти обертання вектора потокозчеплення ротора.

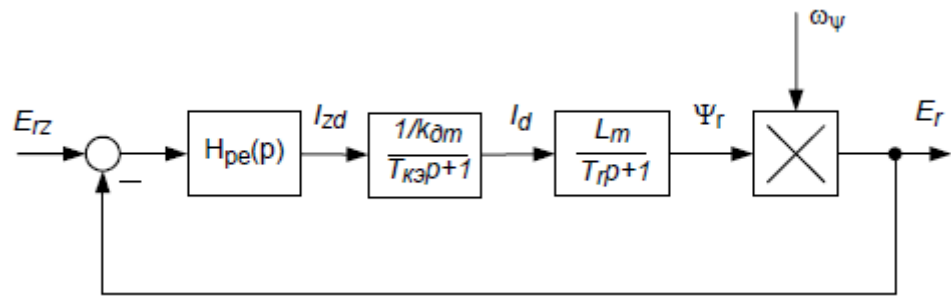


Рисунок 3.12– Структурна схема контуру ЕДС

Бажана передатна функція розімкнутого контуру ЕДС

$$H_{жс}^{paz}(p) = \frac{1}{2T_{кз}p(T_{кз}p+1)} \quad (3.41)$$

Передатна функція розімкнутого контуру ЕДС за умови $\omega_{\psi} = \omega_{\psi \max}$

$$H_{кз}^{paz}(p) = H_{pz}(p) \frac{L_m \omega_{\psi \max} / k_{\partial m}}{(T_{кз}p+1)(T_r p+1)} \quad (3.42)$$

Дорівнюючи (3.41) і (3.42), одержимо передатну функцію регулятора ЕДС.

$$H_{pz}(p) = \frac{T_r p + 1}{(2T_{кз} L_m \omega_{\psi \max} / k_{\partial m}) p} = k_{ep} + \frac{k_{ei}}{p},$$

$$\text{где } k_{ep} = \frac{k_{\partial m} T_r}{2T_{кз} L_m \omega_{\psi \max}}, \quad k_{ei} = \frac{k_{\partial m}}{2T_{кз} L_m \omega_{\psi \max}} \quad (3.43)$$

Очевидно, що процеси в контурі ЕДС при $\omega_{\psi} < \omega_{\psi \max}$ відрізняються від оптимальних (стають більш монотонними). Цим ефектом можна зневажити при невеликому діапазоні регулювання швидкості в другій зоні. Практично повністю цей ефект усувається за допомогою структурної лінеаризації контуру ЕДС за рахунок введення в прямий канал блоку розподілу на ω_{ψ} . У цьому випадку коефіцієнти ПІ- регулятора ЕДС, розраховані по (3.43), треба домножити на $\omega_{\psi \max}$. Обмеження вихідного сигналу регулятора ЕДС здійснюється з умови формування в першій зоні регулювання швидкості номінального значення потокозчеплення ротора, тобто задається на рівні $I_{d \text{ нт}}$.

3.4 Результати моделювання

На рис. 3.13 - 3.15 представлені результати моделювання процесів, які протікають в МПЧ з розглянутими вище алгоритмами управління при його роботі у складі асинхронного електроприводу з двигуном АПН 11/2 ($P_{\text{пот}} = 80\text{Вт}$; $N_{\text{ном}} = 750\text{ об/хв}$; $I_{\text{ном}} = 286\text{А}$; $M_{\text{пот}} = 30\text{нм}$).

На рис.3.13 зображені тимчасові діаграми вихідної напруги фази а (U_a), його еквівалентного (усередненого на напівциклі модуляції) значення (U_{ae}), вихідного струму фази а (I_a), вхідної напруги фази А (U_A), вхідного струму фази А (I_A) і його еквівалентного значення (I_{Ae}) для двох сталих режимів роботи приводу: а) $f_{\text{вих}} = 20\text{ Гц}$, $M_c = M_{\text{ном}}$; б) $f_{\text{вих}} = 100\text{ Гц}$, $M_c = 0,5M_{\text{ном}}$.

В цілях більшої наочності миттєві значення вихідної напруги і вхідного струму показані точковими діаграмами без сполучних ліній. Миттєві значення вхідної напруги і струму показані для умови живлення МПЧ від мережі нескінченно великої потужності і відсутності вхідного LC-фільтру. Підключення LC-фільтру забезпечує бажаний рівень високочастотних (визначуваних частотою комутації ключів) пульсацій струму, споживаного (відданого) живлячою мережею. Оскільки частота модуляції досить висока відносно частоти мережі (2...10кГц), то необхідний фільтр виявляється досить легким. З діаграм еквівалентних значень змінних виразно видно синусоїдальний закон зміни вихідної напруги і вхідного струму при коефіцієнті зрушення основної гармоніки вхідного струму відносно вхідної напруги, близькому до одиниці.

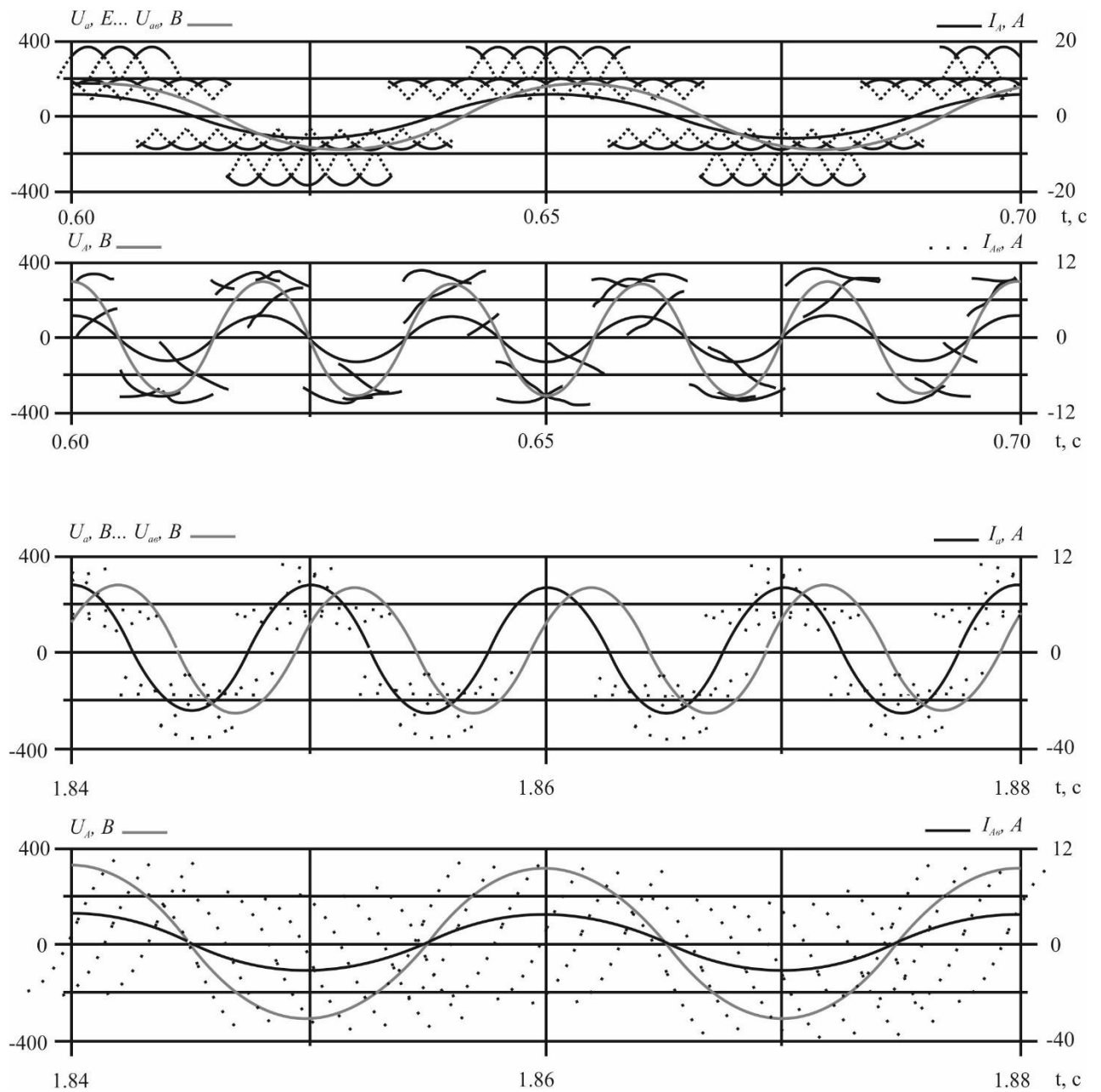


Рисунок 3.13– Часові діаграми входних і вихідних змінних МПЧ в

сталому режимі роботи асинхронного привоу:

$$\text{а} - f_{\text{вих}} = 20 \text{ Гц}, M_c = M_{\text{ном}}; \quad \text{б} - f_{\text{вих}} = 100 \text{ Гц}, M_c = 0,5M_{\text{ном}};$$

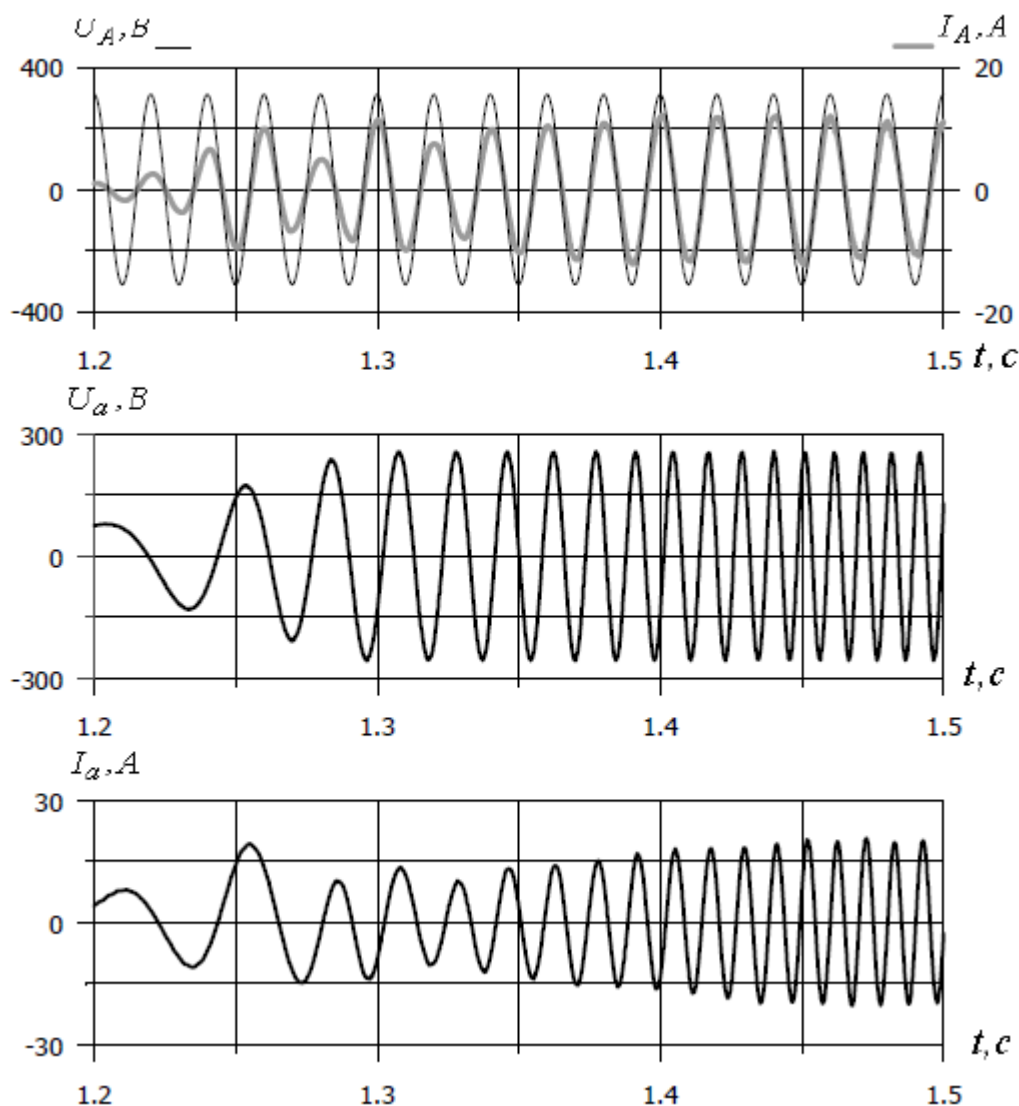


Рисунок 3.14– Часові діаграми змінних МПЧ в режимі розгону асинхронного приводу по задатчику інтенсивності з $f = 10\text{Гц}$ до $f = 100\text{Гц}$

На рис. 3.14 змальовані тимчасові діаграми вхідної напруги і еквівалентного значення вхідного струму фази А, еквівалентних значень вихідної напруги і струму фази а, отримані в режимі розгону приводу з частоти 10 Гц до частоти 100 Гц з інтенсивністю 330 Гц/с при рівні обмеження граничного значення заданої вихідної напруги: $0,82 U_{\text{вх}}$, де $U_{\text{вх}}$ – рівень напруги на вході. Система регулювання – розімкнена з реалізацією статичного закону частотного управління, що формує номінальне потокозчеплення ротора в режимі холостого ходу двигуна. З діаграм видно, що у всіх режимах зберігається збіг по фазі вхідної напруги і струму і забезпечується

синусоїдальний закон зміни еквівалентних значень вихідної напруги і вхідного струму МПЧ. При вихідних напругах, $0,82 U_{\text{вх}}$, які перевищують, закони зміни еквівалентних значень вихідної напруги і вхідного струму будуть відхилятися від синусоїдальних. Проте навіть в цьому випадку гармонійний склад вхідного струму в області низьких частот значно краще за гармонійний склад вхідного струму традиційного ШИМ-перетворювача частоти з некерованим випрямлячем. Максимальний коефіцієнт передачі МПЧ по напрузі $k_{U_{\text{max}}} = 0,82$ без спотворень вихідної напруги і вхідного струму був отриманий при наступних параметрах системи управління: періоді напівциклу модуляції $T_c = 125$ мкс; мінімально допустимій ширині імпульсу перемикавання $\tau_{\text{min}} = 3,5$ мкс. При ідеальних ключах перетворювача ($\tau_{\text{min}} = 0$) максимальний коефіцієнт дорівнює своїй теоретичній межі: $k_{U_{\text{max}}} = \sqrt{3}/2$.

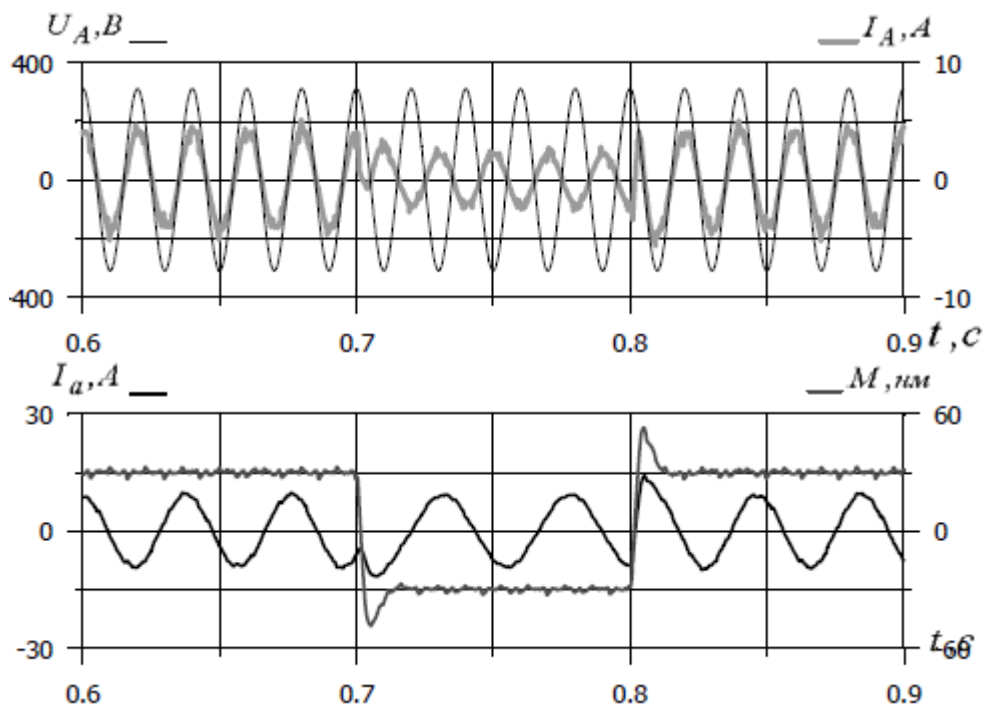


Рисунок 3.15– Часові діаграми змінних векторно-керованого асинхронного приводу з МПЧ в режимі реверсу моменту навантаження з рівня

$$M_c = M_{\text{пот}} \text{ на швидкості } 0,5\omega_{\text{пот}}$$

На рис. 3.15 зображено тимчасові діаграми вхідної напруги і еквівалентного значення вхідного струму фази А, електромагнітного моменту і еквівалентного значення струму статора фази *a* двигуна в режимі реверсу моменту навантаження з рівня $M_c = M_{\text{пот}}$ на швидкості $0,5\omega_{\text{пот}}$ при роботі МПЧ у складі асинхронного електроприводу з системою адаптивно-векторного управління [8]. На діаграмах видно перехід перетворювача в режим рекуперації енергії в мережу. Вхідний струм МПЧ стає протифазою вхідній напрузі, при цьому зберігається закон його зміни, близький до синусоїдального.

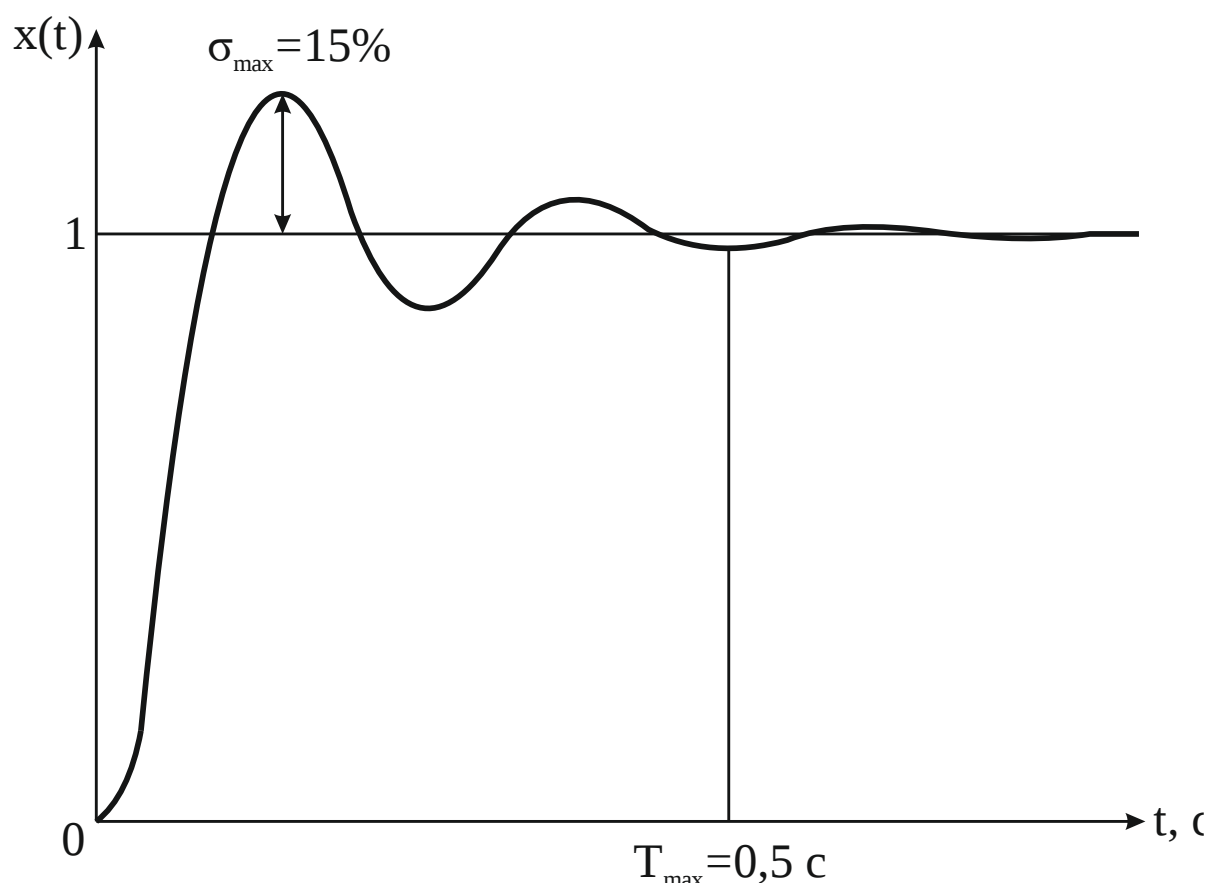


Рисунок 3.16– Результати синтезу з ненастроєними параметрами регулювальника

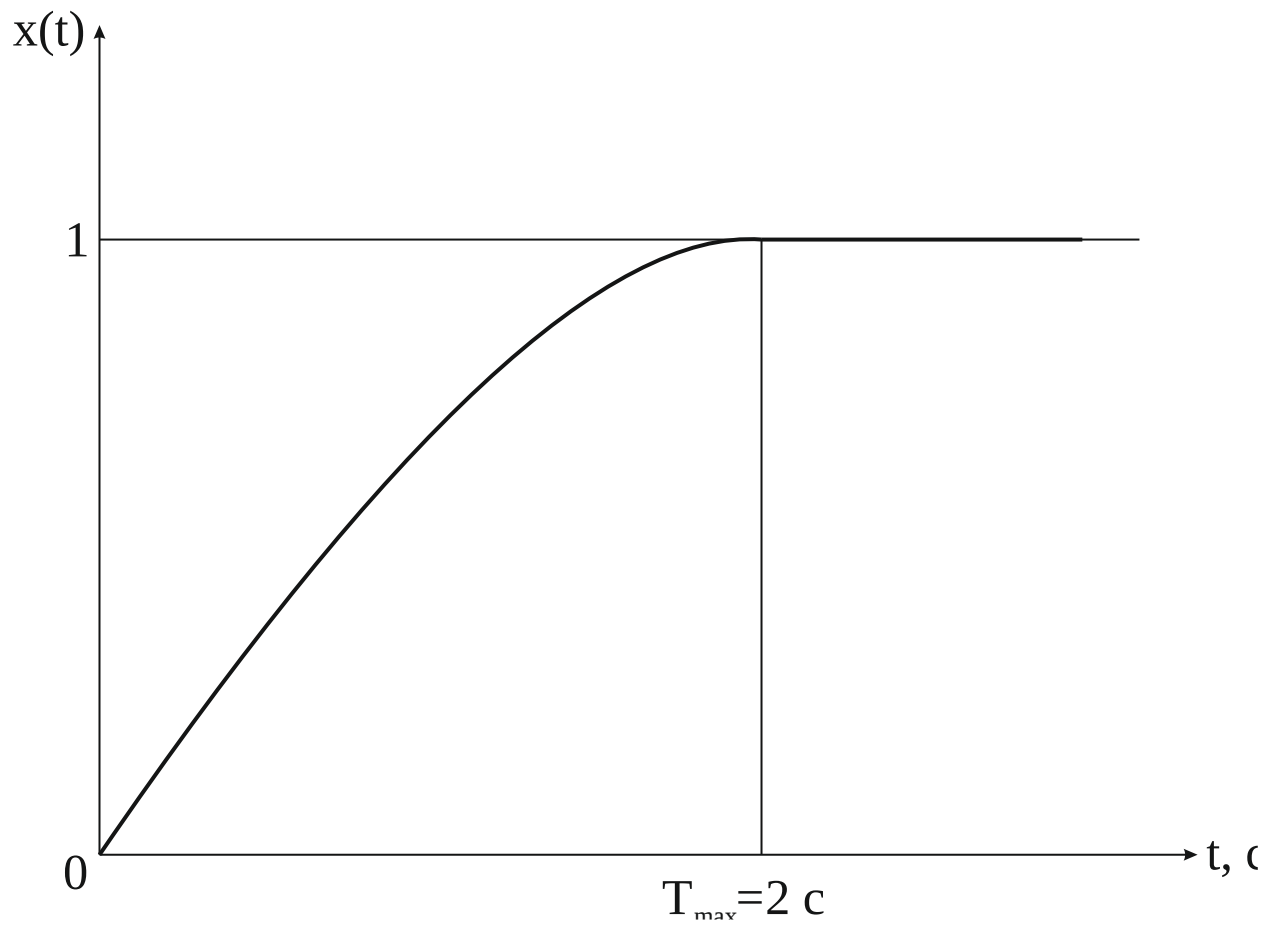


Рисунок 3.17–Результати синтезу з настрєними параметрами регулювальника

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Обґрунтування необхідності проведення дослідження стійкості

Відповідно до ст. 1 Закону України “Про цивільну оборону” від 1993 р., цивільна оборона України – це державна система органів керування, сил і засобів, створюваних для організації і забезпечення захисту населення, об’єктів господарської діяльності й території країни від наслідків надзвичайних ситуацій (НС) техногенного, природного та воєнного походжень.

Розглядаючи вплив на об’єкт (систему, елемент об’єкта) окремих вражаючих факторів, говорять про стійкість його до даному вражаючому фактору (чи до впливу даного вражаючого фактора).

Стійкість роботи об’єкта (системи, елемента об’єкта) - це здатність його безперебійно виконувати завдання функції в умовах НС, а також пристосованість цього об’єкта (системи, елемента об’єкта) до відновлення у випадку ушкоджень.

Для забезпечення усталеної роботи об’єктів господарської діяльності необхідно вирішити проблему збереження машин, приладів, устаткування, технологічних ліній, автоматизованих систем керування і т.п. від впливу вражаючих факторів в умовах НС. Завдання полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпека руйнування (ушкодження) устаткування і забезпечити швидке його відновлення при одержанні слабких і середніх ушкоджень.

Одним з важливих напрямків у підвищенні стійкості роботи об’єктів і їхніх елементів є дотримання вимог нормативних документів, що регламентують забезпечення безпеки виробничого персоналу, безперервність технологічного процесу в умовах дії НС. До нормативних документів належать: закон України "Про цивільну оборону України", будівельні норми і правила ,

ДСТУ та ін. У них приведений перелік заходів, що підвищують стійкість, зокрема, у розділі "Норми проектування інженерно-технічних заходів ЦО". Одним з таких заходів є періодичне проведення дослідження стійкості роботи об'єкта господарської діяльності, проектного устаткування, систем і пристроїв у НС.

Метою досліджень стійкості роботи об'єкта (системи) є всебічна оцінка його здатності функціонувати в умовах впливу вражаючих факторів при НС, видавати заплановану продукцію (параметри) з урахуванням швидкого відновлення при можливих втратах і руйнуваннях.

4.2 Оцінка стійкості роботи автоматизованого електропривода РЛС

4.2.1 Характеристика об'єкту дослідження

Розроблена система автоматичного пуску аварійного судового РЛС на судні. До її складу входять: транзистори, діоди, мікросхеми, конденсатори, резистори, реле, датчики, та інші електронні компоненти.

Кожен елемент піддається старінню. Крім того, можливі технологічні відхилення і брак їх при виробництві, що може привести до відмови цього елемента і як наслідок системи в цілому. А відмова системи створює небезпеку виникнення виробничої аварії. З метою запобігання останній на промислових об'єктах проводять аналіз ризику виробничих аварій.

Аналіз ризику аварій на виробничих об'єктах (далі - аналіз ризику) є складовою частиною управління промисловою безпекою. Аналіз ризику полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і оцінки ризику можливих небажаних подій.

Результати аналізу ризику використовуються при декларуванні промислової безпеки виробничих об'єктів, експертизі промислової безпеки, обґрунтуванні технічних рішень по забезпеченню безпеки, страхуванні,

економічному аналізі безпеки по критеріях "вартість - безпека - вигода", оцінці дії господарської діяльності на навколишнє природне середовище і при інших процедурах, пов'язаних з аналізом безпеки.

4.2.2 Порядок і методика оцінки стійкості об'єкту

Порядок проведення аналізу ризику

Основні етапи аналізу ризику

Процес проведення аналізу ризику включає наступні основні етапи:

- планування і організація робіт;
- ідентифікація небезпек;
- оцінка ризику;
- розробка рекомендацій по зменшенню ризику.

Планування і організація робіт

На етапі планування робіт потрібно:

- визначити аналізований небезпечний виробничий об'єкт і дати його загальний опис;
- описати причини і проблеми, які викликали необхідність проведення аналізу ризику;
- підібрати групу виконавців для проведення аналізу ризику;
- визначити і описати джерела інформації про небезпечний виробничий об'єкт;
- вказати обмеження початкових даних, фінансових ресурсів і інші обставини, що визначають глибину, повноту і детальну аналізу ризику, що проводиться;
- чітко визначити цілі і задачі аналізу ризику, що проводиться;
- обґрунтувати використовувані методи аналізу ризику;
- визначити критерії прийнятного ризику.

Для забезпечення якості аналізу ризику слід використовувати знання закономірностей виникнення і розвитку аварій на небезпечних виробничих

об'єктах. Якщо існують результати аналізу ризику для подібного небезпечного виробничого об'єкту або аналогічних технічних пристроїв, використовуваних на небезпечному виробничому об'єкті, то їх можна застосовувати як початкову інформацію. Проте при цьому слід показати, що об'єкти і процеси подібні, а наявні відмінності не вноситимуть значних змін в результати аналізу.

Цілі і задачі аналізу ризику можуть розрізнятися і конкретизуватися на різних етапах життєвого циклу небезпечного виробничого циклу.

На етапі розміщення (обґрунтування інвестицій або проведенні передпроектних робіт) або проектування небезпечного виробничого об'єкту метою аналізу ризику, як правило, є:

- виявлення небезпек і апіорна кількісна оцінка ризику з урахуванням дії вражаючих чинників аварії на персонал, населення, майно і навколишнє природне середовище;
- забезпечення обліку результатів при аналізі прийнятності запропонованих рішень і виборі оптимальних варіантів розміщення небезпечного виробничого об'єкту, вживаних технічних пристроїв, будівель і споруд небезпечного виробничого об'єкту з урахуванням особливостей навколишньої місцевості, розташування інших об'єктів і економічної ефективності;
- забезпечення інформацією для розробки інструкцій, технологічного регламенту і планів ліквідації (локалізації) аварійних ситуацій на небезпечному виробничому об'єкті;
- оцінка альтернативних пропозицій по розміщенню небезпечного виробничого об'єкту або технічним рішенням.

На етапі введення в експлуатацію (висновку з експлуатації) небезпечного виробничого об'єкту метою аналізу ризику може бути:

- виявлення небезпек і оцінка наслідків аварій, уточнення оцінок ризику, одержаних на попередніх етапах функціонування небезпечного виробничого об'єкту;

- перевірка відповідності умов експлуатації вимогам промислової безпеки;
- розробка і уточнення інструкцій по введенню в експлуатацію (виведення з експлуатації).

На етапі експлуатації або реконструкції небезпечного виробничого об'єкту метою аналізу ризику може бути:

- перевірка відповідності умов експлуатації вимогам промислової безпеки;
- уточнення інформації про основні небезпеки і ризики (зокрема при декларуванні промислової безпеки);
- розробка рекомендацій по організації діяльності наглядових органів;
- вдосконалення інструкцій з експлуатації і технічного обслуговування, планів ліквідації (локалізації) аварійних ситуацій на небезпечному виробничому об'єкті;
- оцінка ефекту зміни в організаційних структурах, прийомах практичної роботи і технічного обслуговування відносно вдосконалення системи управління промисловою безпекою.

При виборі методів аналізу ризику слід враховувати цілі, задачі аналізу, складність даних об'єктів, наявність необхідних даних і кваліфікацію фахівців, що залучаються для проведення аналізу.

На етапі планування виявляються управлінські рішення, які повинні бути прийняті, а також потрібні для цього початкові і вихідні дані.

Основною вимогою до вибору або визначення критерію прийнятного ризику є його обґрунтованість і визначеність. При цьому критерії прийнятного ризику можуть задаватися нормативною документацією, визначатися на етапі планування аналізу ризику і/або в процесі отримання результатів аналізу. Критерії прийнятного ризику слід визначати виходячи з сукупності умов, що включають певні вимоги безпеки і кількісні показники небезпеки. Умова прийнятності ризику може виражатися у вигляді умов виконання певних вимог безпеки, зокрема кількісних критеріїв.

Основою для визначення критеріїв прийнятного ризику є:

- норми і правила промислової безпеки або інші документи по безпеці в аналізованій області;
- відомості про аварії, що відбулися, інциденти і їх наслідки;
- досвід практичної діяльності;
- соціально - економічна вигода від експлуатації небезпечного виробничого об'єкту.

Ідентифікація небезпек

Основні задачі етапу ідентифікації небезпек - виявлення і чіткий опис всіх джерел небезпек і шляхів (сценаріїв) їх реалізації. Це відповідальний етап аналізу, оскільки не виявлені на цьому етапі небезпеки не піддаються подальшому розгляду і зникають з поля зору.

При ідентифікації слід визначити, які елементи, технічні пристрої, технологічні блоки або процеси в технологічній системі вимагають серйознішого аналізу і які представляють менший інтерес з погляду безпеки.

Результатом ідентифікації небезпек є:

- перелік небажаних подій;
- опис джерел небезпеки, чинників ризику, умов виникнення і розвитку небажаних подій (наприклад, сценаріїв можливих аварій);
- попередні оцінки небезпеки і ризику.

Ідентифікація небезпек завершується також вибором подальшого напрямку діяльності. Як варіанти подальших дій може бути:

- рішення припинити подальший аналіз зважаючи на незначність небезпек або достатності одержаних попередніх оцінок.
- рішення про проведення детальнішого аналізу небезпек і оцінки ризику;
- вироблення попередніх рекомендацій по зменшенню небезпек.

Оцінка ризику.

Основні задачі етапу оцінки ризику пов'язані з:

- 1) визначенням частот виникнення ініціюючих і всіх небажаних подій;

- 2) оцінкою наслідків виникнення небажаних подій;
- 3) узагальненням оцінок ризику.

Для визначення частоти небажаних подій рекомендується використовувати:

- статистичні дані по аварійності і надійності технологічної системи, відповідні специфіці небезпечного виробничого об'єкту або виду діяльності;
- логічні методи аналізу "дерев подій", "дерев відмов", імітаційні моделі виникнення аварій в людино - машинній системі;
- експертні оцінки шляхом обліку думки фахівців в даній області.

Оцінка наслідків включає аналіз можливих дій на людей, майно і/або навколишнє природне середовище. Для оцінки наслідків необхідно оцінити фізичні ефекти небажаних подій (відмови, руйнування технічних пристроїв, будівель, споруд, пожежі, вибухи, викиди токсичних речовин і т.д.), уточнити об'єкти, які можуть бути піддані небезпеці. При аналізі наслідків аварій необхідно використовувати моделі аварійних процесів і критерії поразки, руйнування об'єктів дії, що вивчаються, враховувати обмеження вживаних моделей. Слід також враховувати і, по можливості, виявити зв'язок масштабів наслідків з частотою їх виникнення.

Узагальнена оцінка ризику (або ступінь ризику) аварій повинна відображати стан промислової безпеки з урахуванням показників ризику від всіх небажаних подій, які можуть відбутися на небезпечному виробничому об'єкті, і ґрунтуватися на результатах:

- інтеграції показників ризиків всіх небажаних подій (сценаріїв аварій) з урахуванням їх взаємного впливу;
- аналізу невизначеності і точності одержаних результатів;
- аналізу відповідності умов експлуатації вимогам промислової безпеки і критеріям прийнятного ризику.

При узагальненні оцінок ризику слід, по можливості, проаналізувати невизначеність і точність одержаних результатів. Є багато невизначеностей, пов'язаних з оцінкою ризику. Як правило, основними джерелами

невизначеностей є неповнота інформації про надійність устаткування і людські помилки, припущення, що приймаються, і допущення використовуваних моделей аварійного процесу. Щоб правильно інтерпретувати результати оцінки ризику, необхідно розуміти характер невизначеностей і їх причини. Джерела невизначеності слід ідентифікувати (наприклад, "людський чинник"), оцінити і представити в результатах.

Розробка рекомендацій по зменшенню ризику.

Розробка рекомендацій по зменшенню ризику є завершальним етапом аналізу ризику. У рекомендаціях представляються обґрунтовані заходи по зменшенню ризику, засновані на результатах оцінок ризику.

Заходи по зменшенню ризику можуть мати технічний і (або) організаційний характер. У виборі типу міри вирішальне значення має загальна оцінка дієвості і надійності заходів, що роблять вплив на ризик, а також розмір витрат на їх реалізацію.

На стадії експлуатації небезпечного виробничого об'єкту організаційні заходи можуть компенсувати обмежені можливості для вживання значних технічних заходів по зменшенню ризику.

При розробці заходів по зменшенню ризику необхідно враховувати, що унаслідок можливої обмеженості ресурсів в першу чергу повинні розроблятися прості і пов'язані з якнайменшими витратами рекомендації, а також заходи на перспективу.

В більшості випадків першочерговими заходами забезпечення безпеки, як правило, є заходи попередження аварії. Вибір запланованих для упровадження заходів безпеки має наступні пріоритети:

- 1) заходи зменшення вірогідності виникнення аварійної ситуації, включаючи:
 - заходи зменшення вірогідності виникнення інциденту;
 - заходи зменшення вірогідності переростання інциденту в аварійну ситуацію;

2) заходи зменшення тяжкості наслідків аварії, які, у свою чергу, мають наступні пріоритети:

- заходи, що передбачаються при проектуванні небезпечного об'єкту (наприклад, вибір несучих конструкцій, замочної арматури);
- заходи, що відносяться до систем протиаварійного захисту і контролю (наприклад, застосування газоаналізаторів);
- заходи, що стосуються готовності експлуатуючої організації до локалізації і ліквідації наслідків аварій.

При необхідності обґрунтування і оцінки ефективності пропонованих заходів зменшення ризику рекомендується дотримуватися двох альтернативних цілей їх оптимізації:

- 1) при заданих засобах забезпечити максимальне зниження ризику експлуатації небезпечного виробничого об'єкту;
- 2) забезпечити зниження ризику до прийнятного рівня при мінімальних витратах.

Для визначення пріоритетності виконання заходів по зменшенню ризику в умовах заданих засобів або обмеженості ресурсів слід:

- визначити сукупність заходів, які можуть бути реалізовані при заданих об'ємах фінансування;
- рангувати ці заходи по показнику "ефективність - витрати";
- обґрунтувати і оцінити ефективність пропонованих заходів.

Методи проведення аналізу ризику

При виборі методів проведення аналізу ризику необхідно враховувати етапи функціонування об'єкту (проектування, експлуатація і т.д.), цілі аналізу, критерії прийнятного ризику, тип аналізованого небезпечного виробничого об'єкту і характер небезпеки, наявність ресурсів для проведення аналізу, досвід і кваліфікацію виконавців, наявність необхідної інформації і інші чинники.

Так, на стадії ідентифікації небезпек і попередніх оцінок ризику рекомендується застосовувати методи якісного аналізу і оцінки ризику, що

спираються на продуману процедуру, спеціальні допоміжні засоби (анкети, бланки, дослідні листи, інструкції) і практичний досвід виконавців.

Практика показує, що використання складних кількісних методів аналізу ризику часто дає значення показників ризику, точність яких для складних технічних систем невелика. У зв'язку з цим проведення повної кількісної оцінки ризику більш ефективно для порівняння джерел небезпек або різних варіантів заходів безпеки (наприклад, при розміщенні об'єкту), ніж для складання висновків про ступінь безпеки об'єкту. Проте кількісні методи оцінки ризику завжди дуже корисні, а в деяких ситуаціях і єдино допустимі, зокрема, для порівняння небезпек різної природи, оцінки наслідків значних аварій або для ілюстрації результатів.

Забезпечення необхідною інформацією є важливою умовою проведення оцінки ризику. Унаслідок недоліку статистичних даних на практиці рекомендується використовувати експертні оцінки і методи ранжирування ризику, засновані на спрощених методах кількісного аналізу ризику. У цих підходах дані події або елементи звичайно розбиваються по величині вірогідності, тяжкості наслідків і ризику на декілька груп (або категорій, рангів), наприклад, з високим, проміжним, низьким або незначним рівнем ризику. При такому підході високий рівень ризику може вважатися (залежно від специфіки об'єкту), неприйнятним (або вимагаючим особливого розгляду), проміжний рівень ризику вимагає виконання програми робіт по зменшенню рівня ризику, низький рівень вважається прийнятним, а незначний взагалі може не розглядатися.

При виборі і застосуванні методів аналізу ризику рекомендується дотримуватися наступних вимог:

- метод повинен бути науково обґрунтований і відповідати даним небезпекам;
- метод повинен давати результати у вигляді, що дозволяє краще зрозуміти форми реалізації небезпек і намітити шляхи зниження ризику;
- метод повинен бути повторюваним і перевіряємим.

На стадії ідентифікації небезпек рекомендується використовувати один або декілька з перерахованих нижче методів аналізу ризику:

- "Що буде, якщо...?";
- перевірочний лист;
- аналіз небезпеки і працездатності;
- аналіз видів і наслідків відмов;
- аналіз "дерева відмов";
- аналіз "дерева подій";
- відповідні еквівалентні методи.

У даній роботі для ідентифікації небезпек буде застосований метод «аналіз видів і наслідків відмов».

Аналіз видів і наслідків відмов (АВНВ) - формалізована, контрольована процедура якісного аналізу проекту, технології виготовлення, правил експлуатації і зберігання, системи технічного обслуговування і ремонту виробу, яка полягає у виділенні на деякому рівні розукрупнення його структури можливих (спостережуваних) відмов різного виду, в дослідженні причинно-наслідкових зв'язків, що обумовлюють їх виникнення, і можливих (спостережуваних) наслідків цих відмов на даному і вище стоячих рівнях, а також - в якісній оцінці і рангуванні відмов по тяжкості їх наслідків.

Цей метод застосовується для якісного аналізу небезпеки даної технічної системи. Істотною межею цього методу є розгляд кожного апарату (установки, блоку, виробу) або складової частини системи (елементу) на предмет того, як він став несправним (вид і причина відмови) і яка була б дія відмови на технічну систему.

Аналіз видів і наслідків відмови можна розширити до кількісного аналізу видів, наслідків і критичності відмови (**АВНКВ**). В цьому випадку кожен вид відмови рангується з урахуванням двох складових критичності - вірогідності (або частоти) і тяжкості наслідків відмови. Визначення параметрів критичності необхідне для вироблення рекомендацій і пріоритетності заходів безпеки.

Результати аналізу представляються у вигляді таблиць з переліком устаткування, виглядом і причин можливих відмов, частотою, наслідками, критичністю, засобами виявлення несправності (сигналізатори, прилади контролю і т.п.) і рекомендаціями по зменшенню небезпеки.

Систему класифікації відмов по критеріях вірогідності - тяжкість наслідків слід конкретизувати для кожного об'єкту або технічного пристрою з урахуванням його специфіки.

Методи **АВНВ**, **АВНКВ** застосовуються, як правило, для аналізу проектів складних технічних систем або технічних рішень. Виконується групою фахівців різного профілю (наприклад, фахівець з технології, хімічних процесів, інженер - механік) 3 - 7 чоловік протягом декількох днів, тижнів.

4.2.3 Якісна оцінка надійності

Таблиця 4.1– Категорії важкості наслідків відмов

Категорія важкості наслідків відмов	Характеристика тяжкості наслідків відмов
IV	Відмова, яка швидко і з високою вірогідністю може спричинити за собою значний збиток для самого об'єкту і/або навколишнього середовища, загибель або важкі травми людей, зірвавши виконання поставленої задачі
III	Відмова, яка швидко і з високою вірогідністю може спричинити за собою значний збиток для самого об'єкту і/або для навколишнього середовища, зрив виконуваної задачі, але створює дуже малу загрозу життю і здоров'ю людей
II	Відмова, яка може спричинити затримку виконання задачі, зниження готовності і ефективності об'єкту, але не становить небезпеки для навколишнього середовища, самого об'єкту і здоров'я людей
I	Відмова, яка може спричинити зниження якості функціонування об'єкту, але не становить небезпеки для навколишнього середовища, самого об'єкту і здоров'я людей

Таблиця 4.2–Оцінка надійності

Код елемента (функції)	Найменування елемента (функції)	Вид (опис) відмови	Можливі причини відмови	Наслідки відмови			Способи і засоби виявлення і локалізації відмови	Рекомендації по попередженню (зниженню) важкості наслідків відмови	Категорія важкості наслідків відмови
				на даному рівні	на вищестоящому рівні	на рівні виробу			
1	Програмований логічний контролер (ПЛК)	Відсутність імпульсів на виконавчих реле пуску стартера, маслоперекачуючого та паливного насосів	Відсутність живлення контроллера	Відсутність напруги на реле системи пуску двигуна	Відсутність пуску РЛС	-	Перевірка напруги на клеммах живлення контроллера	Використовування електрохімічних джерел струму з якомога більшим терміном експлуатації	III
			Відсутність сигналу з датчиків температури води, масла та реле контролю обертів	Відсутність напруги на двигуні паливного насоса та реле підключення навантаження	Відсутність екстреної зупинки РЛС в разі критичних станів роботи	Критичні режими роботи двигуна та РЛС, які закінчуються виходом з ладу обох	Перевірка ланцюгів від датчиків до ПЛК на наявність сигналу	Своєчасна діагностика системи на наявність зворотного зв'язку	III
			Відсутність вхідної напруги від шин ГРЩ	Відсутність напруги на реле системи пуску двигуна	Відсутність пуску РЛС	-	Перевірка наявності сигналів на вході ПЛК з шин ГРЩ	Використання в системі більш якісних елементів кріплення струмоведучих елементів та проводки	III
			Непрацездатність ПЛК	Відсутність напруги на реле системи пуску двигуна	Відсутність пуску РЛС	Вихід з ладу ПЛК	Заміна ПЛК.	Заміна ПЛК.	III
2	Акумуляторна батарея	Відсутність вихідної напруги	Коротке замикання в одній із банок	Відсутність напруги на реле	Відсутність пуску РЛС	-	Перевірка напруги на вихідних	Дублювання живлення ПЛК,	III

			АКБ	систем и пуску двигуна			клемах	використа ння більш якісних АКБ	
3	Стартер, двигуни паливного та маслоперекач уючого насосів	Відсутні сть вхідної напруги від реле пуску	Відсутніс ть контакту в реле	Відсутн ість напруги на двигуна х	Відсутн ість пуску РЛС	-	Перевірка контакту в реле	Використ овування реле з вакуумни м робочим середови щем	III
4	Блок індикації	Відсутні сть індикаці ї робочих станів системи	Вихід з ладу елементів світлової арматури	Відсутн ість ручного контрол ю за робото ю систем и	-	-	перевірка приладу	використа ння якісних елементів відображе ння інформації	II
5	РЛС	Відсутні сть увімкне ння рлс в режим роботи на „наванта ження”	Вихід з ладу реле увімкнен ня режиму „наванта ження”	Відсутн ість роботи рлс в мережу	Знестру млення судна	-	Перевірка наявності контакту в реле	Дублюван ня реле	III

У таблиці 4.2 представлені результати аналізу відмов систем автоматичного пуску аварійного РЛС. У цій же таблиці знаходяться рекомендації по попередженню (зниженню) важкості наслідків відмови.

Висновки до розділу

За отриманими результатами (Табл. 4.2) можна зробити висновок, що для більшості модернізації автоматичного електропривода РЛС потрібно використовувати елементи з більш високими максимальними експлуатаційними параметрами та дублювати найбільш критичні елементи. Але дублювання елементів пов'язано із значними фінансовими витратами, що призводить до подорожчання системи в 2-3 рази і стає економічно недоцільним. Тому дублюються тільки елементи III – IV рівнів важкості відмов та елементи, дублювання яких, не пов'язано з значними фінансовими затратами.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

Під визначенням “Охорона праці” розуміється система правових соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних дій та засобів, що спрямовані на підвищення безпеки праці, застереження травматизму та професійних захворювань і отруєнь, пожеж і вибухів на виробництві.

Охорона праці включає в себе виробничу санітарію, техніку безпеки, а також законодавство з охорони праці. Недотримання норм і вимог з охорони праці, а також специфіка деяких виробництв призводить до виникнення шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Небезпечним виробничим фактором називається такий вплив на працюючого, який в визначених умовах призводить до травми та іншого раптового погіршення здоров'я.

Результат впливу небезпечного виробничого фактору називається нещасним випадком. До таких належать: ураження електричним струмом, механічна травма внаслідок несправного обладнання і т.д. Вплив шкідливого виробничого фактору призводить до професійних захворювань або зниженню працездатності. До шкідливих факторів належать шуми, вібрації, шкідливі випромінювання, гази, пил і т.д.

В залежності від можливих видів небезпечних або шкідливих впливів на людину, обладнання, що проектується, забезпечується захисними пристроями і пристосуваннями, які забезпечують безпечну трудову діяльність людини. При проектуванні будь-якого обладнання або судна необхідно провести аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що характерні для них і розробити заходи для їх усунення.

5.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, впливаючи на екіпаж судна

Для машинного відділення характерна наявність таких шкідливих виробничих факторів, як шуми та вібрації внаслідок руху деталей механізмів, вихлопу газів і т.д., загазованість та запилення повітря через наявність парів палива, масел, внаслідок замкнутості приміщення, погане освітлення, так як машинне відділення знаходиться всередині корпусу судна.

Небезпеку в машинному відділенні можуть представляти балони пускового повітря, що знаходяться під надлишковим тиском, неприкриті рухомі частини механізмів, струмопровідні поверхні, що контактують з корпусами генераторів, паливні системи і резервуари і т.д.

Крім цього, для ЦПУ характерні шуми що створюються струмопровідними частинами ГРЩ, кабелями. Небезпеку становить висока напруга на шинах, можливість вибуху обладнання ГРЩ при впливі ударних навантажень струму.

Приміщення машинного відділення, як суднове, піддане впливу кренів, диферентів. Повітря машинного відділення насичено вологою, частками солі.

Машинне відділення на судні, де розташовані синхронні генератори, відноситься до категорії приміщень підвищеної небезпеки, тому збереження здоров'я обслуговуючого персоналу здобуває особливо важливе значення, оскільки зниження працездатності членів екіпажу може призвести до аварійних ситуацій з тяжкими наслідками.

Під час роботи синхронних генераторів до небезпечних та шкідливих факторів відносяться:

а) Ураження електричним струмом (в даному проекті напруга генераторів 400 В, а номінальний струм статора (МСК 940-1500) 1360 А). Проходячи через організм, електричний струм робить термічну, електролітичну і біологічну дію.

Термічна дія струму: опіки шкіри і тіла, нагрівання і пошкодження кровоносних судин і органів – може призвести до серйозних функціональних розладів.

Електролітична дія струму: розпад крові та інших органічних рідин – може спричинити значні порушення їх складу.

Біологічна дія струму: порушення функцій нервової системи – призводить до судом, а також припинення дихання і кровообігу.

Розрізняють два основних види ураження струмом: електричну травму і електричний удар.

Електрична травма – місцеве ураження організму. Характерні види електричних травм – електричні опіки, металізація шкіри, механічні пошкодження (переломи, вивихи), отримані падінням з висоти при ударі струмом. електроофтальмія (пошкодження зовнішніх оболонок ока в результаті дії потужного потоку ультрафіолетових променів).

Електричний удар – дія на тканини людини протікаючим через нього електричним струмом, супроводжуючись судорожним скороченням мускулів, що може визвати порушення і навіть припинення діяльності серця і легень.

Випадки ураження людини струмом можливі лише у разі замикання електричного кола через тіло людини або, інакше кажучи, при дотику людини не менш ніж до двох точок кола, між якими існує деяка напруга. Небезпека такого дотику, що оцінюється величиною струму, який проходить через тіло людини, або напругою дотику. Помилково вважають безпечним низьку напругу. Практика показує, що більшість нещасних випадків відбувається при напрузі 380. 220, 110 В і нижче. В ряді смертельних випадків струм не перевищував 5-10 мА. Були смертельні випадки не тільки при напрузі 65-36 В, але навіть при безпечній напрузі 12 В. Описан випадок смертельної електротравми при гальванізації струмом 1-2 мА і напрузі 2 В.

Великий вплив здійснює частота струму. Цей вплив помітно, тому що роздраження нервової системи відбувається внаслідок зміщення іонів. При збільшенні частоти кількість іонів, зміщуючихся за проміжок одного півперіоду.

Зменшується і цього недостатньо для подразнення. При збільшені частоти небезпека смертельного ураження струмом зменшується. Якщо при частоті 100 Гц смертельний струм складає 0,1 А, то при частоті 104 Гц він складає 1 А. Однак досвід показує, що ця загальна закономірність має аномалію в області технічних частот. Так, наприклад, при дії постійного струму на організм тварини смертельним є струм 1,2 А, в той час як при змінному струмі з частотою 60 Гц той же ефект отримується при струмі 0,2 А. Далі досвід показує, що і змінний струм 25 Гц менш небезпечний, ніж змінний струм 60 Гц. На основі проведених дослідів можна враховувати, що найбільш небезпечним є струм частотою 150 Гц.

б) Підвищений рівень шуму. Шум, навіть якщо він невеликий (при рівні 50-60 дБ), спричиняє значне навантаження на нервову систему людини, піддаючи його психологічному впливу. Відсутність необхідної тиші призводить до передчасної втоми, а й нерідко до захворювань. Слуховий аналізатор через центральну нервову систему пов'язаний з різними органами життєдіяльності людини, тому шум впливає на весь організм. Під впливом сильного шуму (90-100 дБ) притупляється гострота зору, з'являються головний біль і запаморочення, змінюються ритм дихання та серцевої діяльності, підвищується кров'яний внутрішньочерепний тиск, порушується процес травлення. Впливаючи на кору головного мозку, шум оказує дратівливу дію, прискорює процес стомлення, послаблює увагу та сповільнює психічні реакції. З цих причин сильний шум в умовах виробництва може сприяти виникненню травматизму. Рівень шуму суднового високо обертового дизель-генератора складає 110дБ. Шум є найбільш важко усунувим шкідливим виробничим фактором.

в) Підвищений рівень вібрації. Причиною виникнення вібрації є виникаючі під час роботи машин та агрегатів невідновжені силові впливи. Ступінь шкідливості вібрації визначається інтенсивністю впливу на людину; даний фактор може стати причиною розладу серцево-судинної та нервової систем, ушкодження слуху, виникнення вібраційної хвороби; крім цього,

вібрація може призвести до ушкодження елементів системи, що може послужити причиною аварійної ситуації.

г) Електромагнітні випромінювання. Вплив електромагнітних полів на людину залежить від напруженості електричного та магнітного полів, інтенсивності потоку енергії, частоти коливань, локалізації випромінювань на поверхні тіла та індивідуальних особливостей організму. Механізм такого впливу полягає в тому, що в електричному полі атоми та молекули, з яких складається тіло людини, поляризуються, а полярні молекули (наприклад, води), крім цього, орієнтуються за напрямком розповсюдження електромагнітного поля. Перемінне електричне поле викликає нагрів тканин тіла людини, як за рахунок перемінної поляризації діелектриків, так і за рахунок виникнення струмів провідності. Електромагнітні поля також впливають на тканини як на біологічні об'єкти. Вони впливають на нервову систему, змінюють орієнтацію клітин, біохімічну активність білкових молекул і склад крові. Спостерігається зміна вуглеводного, білкового та мінерального обміну речовин.

д) Забруднення повітряного середовища в виробничих умовах. На виробництві повітря рідко має природний склад, так як багато технологічних процесів супроводжуються виділенням в повітря виробничих приміщень шкідливих речовин – пару, газів, пилу. Шкідливі речовини потрапляють до організму людини через дихальні шляхи, а також через шкіру та з їжею. За дією на людину вони поділяються на дві групи: неотрутні та отрутні (токсичні). Для неотрутного пилу характерне подразнення і навіть поранення порошинами слизових оболонок дихальних шляхів, що призводить до їх запалення, а при проникненні до легень – до виникнення специфічних захворювань. До такого пилу відносяться металевий (чавунний, залізний, мідний, алюмінієвий), пластмасовий, наждаковий, карборундовий, деревний, пил скляного та мінерального волокна. Отрутними є свинцевий, цинковий пил та т.д. В результаті впливу шкідливих речовин можуть виникати професійні захворювання.

Усі ці фактори необхідно усувати або зводити до мінімуму, щоб створити необхідні умови праці для членів екіпажу.

5.2 Розрахунок освітлення машинного відділення на судні з РЛС

Машинне відділення має наступні габарити:

довжина $\dot{A} = 20$ м;

ширина $B = 10$ м;

висота $H = 2,5$ м.

Добре освітлення приміщень та робочих місць – одна з найважливіших вимог та заходів профілактики травматизму на судах і загального поліпшення умов праці. В машинному відділенні джерелом освітлення робочих поверхонь являється штучне освітлення.

Знайдемо площу машинного відділення:

$$S = A \cdot B = 20 \cdot 10 = 200 \text{ м}^2.$$

Вибираємо систему загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання.

В якості світильників вибираємо світильники спеціального призначення типу 434у з двома лампами типу С220-60-1 потужністю 60 Вт з робочою напругою 220 В. Лампа має опалову колбу, а світильник має водозахисне виконання.

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = A \cdot B / H \cdot (A + B) = 20 \cdot 10 / 2,5 \cdot (20 + 10) = 2,7$$

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку за наступними параметрами $\rho_{\bar{i}} = 70\%$, $\rho_{\bar{i}} = 50\%$, $\rho_{\bar{i}} = 30\%$, $i=2,7$: $\eta = 0,49$.

Вибираємо коефіцієнт запасу $K_z = 1,5$.

Мінімальна освітленість $\dot{A}_{\min}$ складає 75 лк.

Визначаємо світловий потік лампи С220-60-1. Номінальний світловий потік $E_{\min}$ лампи розжарювання складає 715 лм.

Коефіцієнт нерівномірності для ламп розжарювання приймаємо $Z=1,15$.

Визначаємо необхідне число світильників:

$$N = \frac{E_{\min} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{75 \cdot 200 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{1 \cdot 715 \cdot 0,49} = 73,8$$

Приймаємо до установки 40 світильників типу 434у.

5.3 Розробка заходів для забезпечення безпеки на судні

Зниження ймовірності впливу на людину різноманітних шкідливих та небезпечних факторів може виконуватись за допомогою проведення наступних заходів:

- 1) Установка звукоізоляційних перегородок, амортизуючи пристроїв.
- 2) Установка такої кількості світильників, яка б забезпечувала нормальне освітлення робочих місць, застосування місцевого освітлення.
- 3) Вентиляція і фільтрація повітря приміщень.
- 4) Надійне закріплення обладнання.
- 5) Закриття кожухами обертаючих частин механізмів, пристроїв що знаходяться під тиском.
- 6) Застосування фільтруючих та звукоізоляційних пристроїв індивідуального використання.
- 7) Проведення своєчасних оглядів і ремонтів обладнання.
- 8) Навчання правилам користування і техніки безпеки персоналу.

Згідно з правилами Регістру, в цілях поліпшення умов електробезпеки на морських судах передбачається обов'язкове захисне заземлення стаціонарного, пересувного та переносного електрообладнання. Захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання металевим провідником будь-якого електричного пристрою з землею або її еквівалентом (металевим корпусом судна). Його призначення – знизити напругу, обумовлену “замиканням на

корпус”, до безпечного рівня та попередити ураження людини електричним струмом.

Заземленню підлягають корпуси електричних машин, їх пуску регулююча апаратура, корпуси трансформаторів, кожухи рубильників, комутаційна та захисна апаратура, вимірювальна апаратура, металеві оболонки кабелів.

Захисний автоматично відключаючий пристрій забезпечує швидке (не більш 0,1с) автоматичне відключення аварійної ділянки або при виникненні небезпеки ураження людини електричним струмом. Він використовується у випадках, якщо пристрій заземлення представляє певні труднощі.

Для запобігання електротравматизації та аварії застосовуються різні огороження (кришки, кожухи, решітки), блокуючи пристрої, кінцеві вимикачі. Електричне блокування застосовується для автоматичного відключення електричних пристроїв у випадку помилкових дій персоналу, при знятті огорож, кришок, та люків, що дозволяють проникати в небезпечну для життя зону.

Кінцеві вимикачі електроструму застосовуються в конструктивних схемах пристроїв, де для уникнення аварійних ситуацій вимагається обмеження руху їх елементів.

Для забезпечення безпомилкового визначення роду струму та фази, кабелю та провода електричних фаз маркірують, а шини фарбують в відповідні кольори.

Як висновок слід зазначити, що ефективним заходом по усуненню небезпечних та шкідливих виробничих факторів є наглядна агітація, а також велике значення має галузевий стандарт, що встановлює сигнально-попереджаючи кольори та знаки безпеки для суден морського флоту.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього середовища і раціональне використання природних ресурсів є складною і багатоплановою проблемою, рішення якої сполучене з регулюванням взаємин людини і природи, підпорядкуванню їхній визначеній системі правил і законодавчо встановлених норм.

Екологія – це економіка природи й одночасне вивчення усіх взаємин живого з органічними і неорганічними компонентами середовища.

Задачі екології:

- Всебічна діагностика стану природи нашої планети, її ресурсів і визначення порога стійкості живої природи відносно до антропогенних ознак.
- Розробка прогнозів зміни біосфери і стану навколишнього середовища при різних шляхах розвитку людського суспільства.
- Формування нової ідеології і методології, зв'язаних з екологізацією економіки, політики, культури, утворення і виробництва.

Біосфера Землі в даний час піддається наростаючому антропогенному впливу. При цьому можна виділити трохи найбільш істотних процесів, кожен з яких не поліпшує екологічну ситуацію на планеті. Найбільш масштабним і значним є хімічне забруднення середовища невластивими їй речовинами хімічної природи. Серед них - газоподібні й аерозольні забруднювачі промислово-побутового походження. Прогресує й нагромадження вуглекислого газу в атмосфері.

Подальший розвиток цього процесу буде підсилювати небажану тенденцію вбік підвищення середньорічної температури на планеті. Викликає тривогу в екологів і триваюче забруднення Світового океану нафтою і нафтопродуктами, що досяг вже 1/5 його загальної поверхні. Нафтове забруднення таких розмірів може викликати істотні порушення газо- і водообміну між гідросферою й атмосферою. Не викликає сумнівів і значення хімічного забруднення ґрунту пестицидами і її підвищеною кислотністю, що

веде до розпаду екосистеми. В цілому всі розглянуті фактори, яким можна приписати забруднюючий ефект, впливають на процеси, що відбуваються в біосфері.

6.1 Основна частина

Міжнародні конвенції зіграли велику роль у запобіганні забруднення морського середовища. У той же час досвід їхнього застосування виявив і слабкі місця, тому до початку 70-х рр. були створені передумови для перегляду ряду діючих угод і вимозі. Для цих цілей IV Асамблея ІМО в 1973 р. (Лондон) скликала Міжнародну конференцію по запобіганню забруднення моря. У роботі брали участь делегації 71 держави (спостерігачі з 8 країн. Конференція прийняла Міжнародну конвенцію по запобіганню забруднення із судів (МАРПОЛ 73). Конвенція передбачає міри, що запобігають забруднення моря не тільки нафтою, але й іншими шкідливими рідкими речовинами, перевезеними наливом, шкідливими речовинами, перевезеними в упакованні, у вантажних контейнерах, знімних танках або в автодорожніх цистернах, а також речовинами, що утворюються на судах у процесі експлуатації (стічні води, сміття). Дія Конвенції поширюється на вагу типи судів, у тому числі на СПК, СВП, підводні плавучі засоби, стаціонарні й плавучі бурові платформи, експлуатовані в морському середовищі. Однак Конвенція не стосується забруднень, що виникають у процесі робіт з розвідки й видобутку мінеральних ресурсів континентального шельфу Світового океану.

Конвенція МАРПОЛ 73 не тільки містить у собі Положення ОЙЛПОЛ 54 і Виправлення 1962 і 1969 р., але й містить нові положення. Деякі з них наведені нижче.

Уведено поняття «особливі райони», до яких ставляться Середземного, Балтійського, Чорного й Червоного моря, а також Перська затока, де скидання НСВ і інших шкідливих речовин практично повністю заборонений з мінімальними й строго певними виключеннями. На танкерах, що перевозять

нафту, варто застосовувати систему навантаження поверх залишків або здавати нафтовмістні води в прийомні спорудження. Крім того, нові танкери дедвейтом більше 70 тис. т повинні бути обладнані танками, ізольованого баласту.

Визначено речовини, скидання залишків яких може бути здійснений тільки в прийомні спорудження, а в морське середовище - при дотриманні відповідних умов в обмеженій кількості.

Всі судна повинні бути постачені міжнародними свідченнями встановленого зразка. Розширено права влади порту по здійсненню контролю над іноземними судами за виконанням ними вимозі Конвенції.

Положення МАРПОЛ 73 і Протоколу 1978 р. до неї представляють єдиний документ, що одержав офіційну назву «Міжнародна конвенція по запобіганню забруднення із судів 1973 р., змінена Протоколом 1978 р. або коротко МАРПОЛ 73/78.

МАРПОЛ 73/78 містить у собі 20 статей Конвенції МАРПОЛ 1973 р. і 9 статей Протоколу 1978 р., два протоколи й п'ять додатків. Зміст статей в основному стосується юридичних положень. У Протоколі I детально регламентується порядок повідомлень про інциденти, які призвели до скидання шкідливих речовин. У Протоколі II (арбітраж) висвітлюється порядок урегулювання спорів із приводу застосування й тлумачення положень МАРПОЛ 73/78.

Додаток I «Правила запобігання забруднення нафтою» застосовується до всіх нафтових танкерів без обмеження місткості й до усім іншими судам валовою місткістю 400 рег. т і більше. Основний зміст Додатка I становлять правила скидання нафти із судів. Дозволяється скидання НСВ із вантажних танків нафтових танкерів при одночасному дотриманні наступних умов: танкер перебуває за межами особливого району й на відстані більше 50 миль від найближчого берега; миттєва інтенсивність скидання не перевищує 60 л на милю; загальна кількість скинутої в море нафти з діючих танкерів не перевищує 1/15 000, а з танкерів нової будівлі 1/3000 загальної кількості даного

виду вантажу, з якого утворився залишок; на танкері діє система автоматичного виміру й контролю над скиданням і є відстійні танки.

Для судів валовою місткістю 400 рег. т і більше, що не є нафтовими танкерами, а також для машинних відділень танкерів дозволене скидання НСВ при одночасному дотриманні наступних умов: судно перебуває в русі поза межами особливого району й на відстані більше 12 миль від найближчого берега, зміст нафти в скидають водах, що, не перевищує 100 мг/л. Крім того, на судні повинні діяти система автоматичного виміру й контролю над скиданням, пристрій для сепарації НСВ, система фільтрації нафти або інших пристроїв.

Судну валовою місткістю менш 400 рег. т, експлуатовані поза межами особливих районів, постачені встаткуванням (наскільки це доцільно й здійснено) для збереження всіх нафтових залишків па борту з наступною передачею їх у берегові прийомні пристрої. Скидання нафти в море із цих судів дозволений при дотриманні вимог, пропонованих до судів валовою місткістю 400 рег. т і більше.

В особливих районах заборонене будь-яке скидання нафти й НСВ із танкерів або судів валовою місткістю 400 рег. т і більше. Вони зберігаються на борті судна й здаються на берегові очисні спорудження.

Країни-учасниці МАРПОЛ 73/78 повинні забезпечити прийом нафтових залишків із судів у нафтоналивних портах, терміналах та ін.

Додаток I обмовляє також вимоги, пропоновані до конструкції нафтових танкерів; до системи автоматичного виміру, реєстрації й керування скиданням (САЗРИУС); до встаткування для нафтової сепарації та ін.

У МАРПОЛ 73 термін «нафта» істотно розширена й включає нафта в будь-якому виді; сиру нафту, рідке паливо, нафтовмістні опади, нафтові залишки й очищені нафтопродукти, які не є нафтохімічними речовинами. Перелік нафти, що не слід розглядати як вичерпний, наведений у Доповненні I до Додатка I. Доповнення II являє собою форму Міжнародного свідчення про запобігання забруднення нафтою.

Нафтові танкери валовою місткістю 150 рег. т і більше та інші судна валовою місткістю 400 рег. т і більше, що не є нафтовими танкерами, забезпечуються журналом нафтових операцій. Наявність його обмовляється Доповненням III до Додатка I.

На танкерах ЖНО заповнюють на підставі даних по кожному танку у всіх випадках, коли проводяться наступні операції: навантаження, перекачування й вивантаження нафти; відкриття або закриття клапанів і аналогічних пристроїв, що з'єднують вантажні танки, до й після навантажувальних і розвантажувальних операцій; відкриття або закриття пристроїв, що з'єднують вантажні трубопроводи із трубопроводами забірної баластової води; відкриття або закриття суднових забірних клапанів до, під час і після навантажувальних і розвантажувальних операцій; прийом баласту в вантажні танки і їхнє очищення; скидання води з відстійних танків; скидання баласту (виключення-скидання з танків ізолюваного баласту); видалення залишків; скидання за борт льяльних вод.

На судах, що не є нафтовими танкерами, ЖНО заповнюють, коли проводяться наступні операції: прийом баласту до паливних танків або нафтових вантажних приміщень або їхнє очищення; скидання баласту або промивної води з танків, у які приймається вантаж; видалення залишків; скидання за борт льяльних вод. Кожна операція повністю й вчасно вноситься в ЖНО. Кожний запис у журналі підписується особою, відповідальним за операцію, а кожна заповнена сторінка підписується капітаном судна.

Особливістю Конвенції є те, що стаціонарні й плавучі бурові установки повинні задовольняти вимогам Додатка I, що стосується судів валовою місткістю 400 рег. т і більше, що не є нафтовими танкерами (за деякими виключеннями).

Додаток II «Правила запобігання забруднення шкідливими рідкими речовинами, перевезеними наливом» поширюється на судна, що перевозять ВЖВ наливом, незалежно від їхньої місткості. До складу Додатка II входять п'ять доповнень.

У Доповненні І наведені принципи класифікації ВЖВ залежно від ступеня небезпеки для морських живих організмів або здоров'я людини [43]. Токсичність ВЖВ для морських живих організмів визначається величиною TL_m , що представляє собою таку концентрацію речовини, при якій протягом певного періоду (звичайно протягом 96 ч) гине 50 % состава групи організмів, підданих випробуванню.

У категорію А входять: біоаккумуляуючі речовини, небезпечні для морських живих організмів або здоров'я людини; високотоксичні для морських живих організмів речовини; деякі помірковано токсичні для морських живих організмів речовини, коли враховуються додаткові фактори небезпеки або особливі характеристики ВЖВ.

До категорії В ставляться: високоаккумулятивні речовини, що зберігають свої властивості протягом тижня; речовини живі організми, що роблять морські, непридатними до вживання в їжу; помірковано токсичні для морських живих організмів речовини (категорія небезпеки 3); деякі малотоксичні для морських живих організмів речовини, коли враховуються додаткові фактори небезпеки або особливі характеристики ВЖВ.

У категорію Із входять речовини, малотоксичні для морських живих організмів (категорія небезпеки 2); деякі практично нетоксичні для морських живих організмів речовини, коли надається особливе значення додатковим факторам небезпеки або особливих характеристик ВЖВ.

Категорію D представляють речовини: практично нетоксичні для морських живих організмів (категорія небезпеки 1); зухвалу появу на морському дні опадів з високою біологічною потребою в кисні; представляючі більшу небезпеку для здоров'я людини; помірковано погіршують природну привабливість моря як об'єкта відпочинку через стійке збереження неприємного запаху, отруйності або впливу, що дратується, що може перешкоджати використанню пляжів; створюючи помірну небезпеку для здоров'я людини й незначно погіршують природну привабливість моря.

До інших рідких речовин відносяться речовини, що не ввійшли в перераховані категорії А, В, С і D.

Для кожної категорії речовини встановлені правила скидання в море. Так, скидання ВЖВ категорії А заборонений. При промиванні танків їхні залишки й суміші (баластові й промивні води) зливаються в прийомне спорудження доти, поки концентрація ВЖВ у стоці не буде дорівнює або менше припустимої, а танк не буде спорожнений. Залишок з танка може бути скинутий у море, якщо буде розведений в обсязі не менш 5 % загального обсягу танка при одночасному дотриманні наступних умов: скидання здійснюється на глибині не менш 25 м і на відстані не менш 12 морських миль від найближчого берега; нижче ватерлінії з урахуванням розташування прийомних отворів заборотної води; швидкість самохідного судна становить не менш 7 уз, несамохідного - 4 уз. ВЖВ категорії В, їх баластові й промивні води, залишки й суміші скидати в море заборонено. Виключення становлять випадки, коли дотримуються умови скидання залишків речовини категорії А, а також наступні вимоги: методи й пристрої скидання повинні забезпечувати концентрацію ВЖВ у кільватерному струмені, що не перевищує 1 млн-1; максимальна кількість ВЖВ, скинутого в море з кожного танка й пов'язаної з ним системи трубопроводів, не повинне перевищувати 1 м³ або 1/3000 обсягу танка (залежно від того, що більше).

Скидання в море речовин категорії С, їх баластових і промивних вод, залишків і сумішей заборонений, крім випадків дотримання умов скидання залишків речовин категорії А, а також наступних вимог: методи й пристрої для скидання повинні забезпечувати концентрацію речовини в кільватерному струмені, що не перевищує 10 млн-1; максимальна кількість речовини, скинутого в море з кожного танка й пов'язаної з ним системи трубопроводів, не повинне перевищувати 3 м³ або 1/1000 обсягу танка (залежно від того, що більше).

Скидання в море речовин категорії D, їх баластових і промивних вод, залишків і сумішей заборонений. Скидання допускається при дотриманні одночасно наступних умов: відстань від найближчого берега становить не

менш 12 миль; самохідне судно рухається зі швидкістю 7 уз. а несамохідне -4 уз; концентрація скидає суміші, що, не перевищує однієї частини речовини в десяти частинах води.

Конвенція визначає ще більш тверді умови скидання ВЖВ в особливих районах. Наприклад, промивання танків, що містять речовини категорії А, зі зливом промивної води в прийомні спорудження виробляються доти, поки концентрація в стоці не буде у два рази менше в порівнянні із припустимою концентрацією при промиванні виснув меж особливих районів.

ВЖВ, які не входять або тимчасово не внесені в яку-небудь категорію, а також не оцінені відносно шкідливості, скидати в морське середовище не можна. Це положення поширюється на баластові й промивні води, залишки й суміші, що містять зазначені речовини.

У Додатку II також передбачені міри контролю за скиданням ВЖВ всіх категорій як у море, так і в особливих районах. Перелік ВЖВ містить 178 найменувань і наведений у Доповненні II. Ряд речовин включений у перелік попередньо, тому що ще не остаточно виявлений ступінь небезпеки цих ВЖВ для морського середовища й у першу чергу для живих ресурсів. Доповнення II містить перелік інших рідких речовин (46 найменувань) без категорії, перевезення яких наливом визнана безпечною (лимонний сік, риб'ячий жир, етиловий спирт і ін.). Скидання в море льяльних і баластових вод. залишків або сумішей, що містять ці речовини, а також чистого або ізольованого баласту не обмежений у вимогах Додатка II.

Доповнення IV пропонує судам, що перевозять ВЖВ наливом мати журнал вантажних операцій. Його статут аналогічний статуту Журналу нафтових операцій. У випадку скидання ВЖВ навмисно чи в результаті аварії в Журналі виробляється запис із вказівкою обставин і причин скидання.

Конструкція, устаткування й експлуатація хімовозів повинні відповідати вимогам Зводу правил будівлі й устаткування судів, що перевозять небезпечні хімічні вантажі наливом або навалом. На кожному хімовозі повинне

бути народне свідчення про запобігання забруднення при візку ВЖВ наливом (Доповнення V).

Додаток III «Правила запобігання забруднення ВВ. перевезеними морем в упакуванні, вантажних контейнерах, знімних танках або в автодорожніх і залізничних цистернах» застосовується до всіх судів. Тара, у якій перевозяться шкідливі речовини, повинна бути виготовлена з урахуванням властивостей вантажу й забезпечувати мінімальне забруднення морського середовища. У маркуванні тари повинне бути зазначене правильне технічне найменування вантажу й може бути представлений номер речовини за списком небезпечних вантажів ООН. Тара забезпечується відмітним ярликом, що показує, що в пий утримується шкідлива речовина.

Тара із ВВ розміщається й розкріплюється на судні так, щоб небезпека її ушкодження була мінімальна. Упакування, контейнери й порожні ємності розглядаються як ВВ, якщо не були вжиті заходи безпеки, що забезпечують відсутність у них якого-небудь залишку, небезпечного для морського середовища.

У Додатку III передбачена можливість заборони або обмеження кількості окремих речовин, які становлять особливу небезпеку.

Додаток IV «Правила запобігання забруднення стічними водами» застосовується: до нових судів валовою місткістю 200 рег. т і більше, а також до нових судів валовою місткістю менш 200 рег. т, на яких дозволене перевезення більше 10 чоловік; до нових судів необмеженої валової місткості, на яких дозволена перевезення більше 10 чіл; до існуючих судів, що мають зазначені вище характеристики, але з 10-літньою відстрочкою від дня вступу в силу дійсного Положення (Додаток III).

Порти й термінали країн-учасниць Конвенції повинні бути обладнані спорудженнями для прийому стічних вод із судів. Доповнення до Додатка IV пропонує видавати судну Міжнародне свідчення про запобігання забруднення стічними водами.

Додаток V «Правила запобігання забруднення сміттям із судів» застосовується до всіх типів судів. У портах і терміналах країн-учасниць Конвенції повинні бути встановлені спорудження для прийому сміття із судів.

Країна, що підписала або приєдналася до МАРПОЛ 73/78, зобов'язана визнавати й виконувати положення Додатків I і II.

Було домовлено, що Додаток I набудить чинності після закінчення року, а Додаток II — трьох років або більше з того моменту, коли буде досягнуто особливої згоди між країнами й від дня, коли Сторонами Конвенції стануть не менш 15 країн, загальна валова місткість торговельних судів яких становить не менш 50 % валової місткості судів світового торговельного флоту. Такий строк наступив 2 жовтня 1982 р. Таким чином, МАРПОЛ 73/78 з Додатком I набула чинності з 2 жовтня 1983 р.

6.2 Джерела й масштаби викидів РЛС

При роботі РЛС викидають в атмосферу випускні гази, а в морське середовище - забортну воду з теплообмінних апаратів і нафтовмісні води. Внаслідок неповного згоряння палива, недосконалості систем суднових і енергетичних установок, конструкцій устаткування, порушень правил технічного обслуговування, а іноді в результаті аварії в машинному відділенні або загибелі судна виникають теплове, шумового, вібраційного й радіаційне (для ЯЕУ) забруднення навколишнього середовища.

Якісні й кількісні показники забруднення біосфери визначаються типом і потужністю РЛС, сортом палива й т.д.

При роботі РЛС в атмосферу викидаються випускні гази головних двигунів і казанів, токсичність яких визначається сортом палива й умовами його згоряння. Так, застосування важких сірчистих палив сприяє зменшенню

експлуатаційних витрат на паливо, але при цьому підвищується забруднення НС сірчистим і сірчанам ангідридом, збільшуються зношування й число відмов РЛС.

Випускні гази сприяють задимленні атмосфери; чорні кольори їм надають сажа й зола. Диміння, крім забруднення біосфери, також погіршує видимість. За допомогою штучних супутників Землі були виявлені стійкі димові утворення над основними курсами руху судів в Атлантиці, кількість яких щодоби досягає 2000 одиниць.

При експлуатації РЛС вуглеводні надходять в атмосферу в складі випускних газів або в результаті випару бункерного палива. Тому що більша частина вуглеводнів разом з опадами попадає в морське середовище, те це джерело забруднень варто вважати найпоширенішим небезпечним.

У результаті несправностей і аварій установок систем кондиціонування повітря й рефрижерації мають місце виток холодоагентів в атмосферу. Холодоагенти являють собою галогенвмістні вуглеводні (талони) і по прийнятій у вітчизняній промисловості термінології називаються хладагентами. Вони застосовуються також у суднових системах пожежогасіння (порошкові вогнегасячі апарати місцевого гасіння, СИГ, системи СЖ-Б).

Основною причиною забруднення морського середовища в нормальних умовах експлуатації є скидання нафтовмістні вод. При експлуатації РЛС споживають паливо, масло, прісну й забортну воду. Ці робочі речовини в суміші утворюють НСВ, які стікають у трюми машинних і машинно-котельних відділень, де накопичуються в льялах і збірних колодязях (льяльні води).

Таблиця 6.1– Концентрація небезпечних речовин у воді

Група	Домішки	ГДК, %	Концентрація домішок, %	Концентрація, %, і вплив на людину
I	Азот N_2 , водень H_2 . водяна пара H_2O , вуглекислий газ CO_2	0,0006	0,011-0,027	0,011 - роздратування слизових оболонок
II	Окис вуглецю	0,0008	0,005—0,5	0,01-хронічне отруєння при тривалому впливі; 0,05 -слабке отруєння через 1 ч; 1,0-втрата свідомості після декількох вдихів
III	Окиси азоту: NO , NO_2 , N_2O_5 і т.д.	0,000009	0,004—0,2	0,0013 - роздратування слизових оболонок
IV	Углеводородні з'єднання $C_x H_y$	0,00002	0,013-0,047	Роздратування слизових оболонок, утворення пухлин
V	Альдегіди: акролеїн CH_2CHCHO (рідина) формальдегід $HCHO$ (газ)	0,00001	0,001-0,004 4-7*	0.0005 - тяжкопереносний 0,014- смерть через 10 хв; 0,007 - роздратування дихальних шляхів і
VI	Сажа Z	0,000038	0,01—0,5**	Забруднення повітря й води, погіршення видимості
VII	Сірчистий ангідрид SO_2	0,000012	0,003—0,05	0. 0017 - роздратування очей, кашель; 0.00-1 - отруєння через 3 хв

Існують наступні джерела утворення льяльних вод: утічки палива, масла, прісної й забортної води через нещільності з'єднань комплектувального устаткування систем суднових і енергетичних установок; утічки через сальники арматур і насосів, що виникають у результаті появи виразок і свищів на комплектувальному устаткуванні при його зношуванні. Крім того, робітники речовини надходять у льяла при профілактичних оглядах і ремонтах устаткування, недбалому транспортуванню речовин по машинних і машинно-котельних відділеннях, при порушенні машинною командою правил технічної експлуатації.

Додатковими джерелами надходження прісної води є: конденсація водяних пар і відпрівання внутрішніх поверхонь корпусу судна; продувка парогенераторів, балонів стисненого повітря, водомасловідділелів і ін.; відстояна вода з видаткових цистерн палива й масла; вода від миття настилів та

ін. Додаткові джерела надходження забортної води - утічки через чепцеве ущільнення дейдвудного пристрою валопровода; фільтрація через нещільності заглибної частини зовнішнього обшивання корпусу.

Надходження різних робочих речовин у льяла можливо в результаті випадкових і аварійних ситуацій. На стоянці кількість льяльних вод становить 50-70 % загальної кількості вод на ходу судна. Загальна концентрація нафти в льяльних водах на ходовому режимі в 4-5 разів більше, ніж на інших режимах.

Іншим різновидом НСВ є баластові води паливних цистерн РЛС, що представляють собою суміш залишків палива й забортної води, що приймається в спорожнені паливні цистерни у вигляді баласту для забезпечення морехідних якостей судна.

Таблиця 6.2– Кількість льяльних вод, що утворюються на ходу судна

Водотоннажність судна, т	Кількість ЛВ, що утворюються за 1	
	м ³ /добу	в % від
До 1500	0,3-8	0,02-0,5
1 500-4 000	8,0-20	-0,5
4 000-10 000	20-30	0,5-0,3

Кількість баластових вод визначається конструктивними особливостями судна, кількістю вантажу й порожніх паливних цистерн, станом моря. Воно може становити 0,05-0,2 % і більше від водотоннажності судна.

Експлуатація дейдвудних пристроїв з металевими підшипниками супроводжується утічками масла в морське середовище в результаті відмов ущільнювальних кілець.

Тепло випускних газів РЛС не робить помітного впливу на навколишнє середовище в порівнянні з викидами промислових підприємств і теплоелектростанцій. Тому зниження теплових викидів РЛС потрібно розглядати тільки в плані підвищення економічності установок.

Робота РЛС супроводжується шумом і вібрацією встаткування, які впливають на людину. Радіаційне забруднення біосфери може мати місце при експлуатації судів з ЯЕУ.

6.3 Заходи щодо зменшення забруднення морського середовища нафтопродуктами

Ступінь забруднення й кількість ЛВ визначаються типом судна, його водотоннажністю й конструктивними особливостями, типом РЛС й режимом її навантаження, станом і якістю обслуговування механізмів і трубопроводів. Зміст нафтопродуктів у ЛВ коливається в широкому діапазоні й у середньому становить 2000 мг/л. Середня щільність суміші нафтопродуктів у ЛВ становить 0,83-0,94 г/см³. Зміст палива в льяльних водах, %, може бути 70-80, масла 30-20, механічних домішок 4-6.

Поверхнево-активні речовини, що представляють собою в основному продукти окислювання палива й масел, а також миючі, деемульгуючі та інші хімічні речовини, застосовувані в РЛС, можуть становити в льяльних водах приблизно 0,15-0,30 %. Наявність такої кількості речовин в льяльних водах істотного впливу на їхній хімічний склад не робить.

Льяльні води являють собою складну суміш, що із працею піддається руйнуванню. Частина суміші осаджується на елементах набору й перебуває там тривалий час без розкладання в комкообразному стані. Основна кількість нафтопродуктів зосереджена в першому (верхньому) шарі, що становить не більше 5 % загальної висоти шаруючи ЛВ. На ходовому режимі зміст нафти в першому шарі становить 25-35 г/л і більш впритул до «чистих» нафтопродуктів на поверхні ЛВ. Другий шар, що становить близько 70 % загальної висоти ЛВ, містить вільно зважені нафтопродукти, які досить інтенсивно відстоюються

й мають нафтовмістні 1300-1700 мг/л. Третій шар (25 % загальної висоти ЛВ) складається з порівняно стійких емульгованих нафтопродуктів зі змістом нафти менш 1000 мг/л

У четвертому («придонному») шарі ЛВ зміст нафти становить 80-120 мг/л, що не дозволяє робити безпосереднє скидання ЛВ за борт без відповідної обробки.

Для очищення нафтовмістних вод застосовуються наступні методи: гравітаційний відстій, флотація, коалесценція, фільтрація. Метод гравітаційного (природного) відстою найбільш економічний і нетрудомісткий, однак не забезпечує стабільної якості очищення. Флотаційний метод заснований на добуванні пухирцями повітря нафтових часток, диспергированих у воді.

Коалесценція - це процес укрупнення часток за рахунок їхнього злиття на коалесцируючому матеріалі. Спрощена схема процесу коалесценції наступна. Дрібні краплі нафтопродуктів, проходячи через коалесцируючий матеріал або в безпосередній близькості від нього, контактують із цим матеріалом і прилипають до нього або до крапель, що вже раніше прилипили до цього матеріалу. Прилиплі краплі зливаються й укрупнюються. Укрупнення буде відбуватися доти, поки сили, що прагнуть відірвати краплю, не стануть переважати над силами, що втримують її на коалесцируючому матеріалі. Коли це відбудеться, укрупнена крапля відірветься від поверхні матеріалу й спливе. Захват крапель нафтопродуктів коалесцируючим матеріалом

Як матеріали, що володіють коалесцируючими властивостями, застосовують натуральні матеріали (вовна, бавовна), зернисті (пісок, галька), синтетичні (скловолокно, поліпропілен, поліуретан) і ін.

Метод фільтрації складається в затримці часток нафтопродуктів шаром фільтруючих матеріалів.

Очищення нафтовмістних вод від нафти можна проводити за допомогою відцентрових сил. Накладення відцентрових сил може здійснюватися шляхом закручування потоку НСВ (гідроциклон) або обертанням самого корпусу (відцентровий сепаратор).

Для обробки нафтовмістних вод судна забезпечуються сепараційним і фільтруючим устаткуванням.

Для забезпечення більше високого ступеня очищення після сепаратора встановлюють двоступінчастий коалесцируючий. Він виготовлений спеціально для обробки НСВ із малим змістом нафти й механічних домішок. Видалення нафти із сепаратора відбувається автоматично витисненням. Пакет пластин очищають один раз у рік, а проектний термін служби другого щабля коалесцируючого фільтра дорівнює 500 ч безперервної експлуатації.

Перспективним є біологічний метод очищення НСВ, широко застосовуваний для обробки стічних вод.

Для запобігання витікання масла й палива в забортну воду триває вдосконалювання встаткування РЛС. Одним з напрямків цього є застосування централізованих систем охолодження головних і допоміжних двигунів. Прокачування охолоджувачів масла, повітря, конденсаторів і інших апаратів здійснюється прісною водою, що у свою чергу проохолоджується забортною водою в одному або декількох теплообмінниках. Щоб забезпечити необхідну температуру прісної води для відповідних споживачів, неї регулюють шляхом перепуску певної кількості води різного ступеня підігріву. Застосування одного або декількох центральних охолоджувачів виключає ймовірність влучення забортної води в масляну систему; крім того, скорочується витрата кольорових металів і довжина трубопроводу забортної води, підвищується надійність системи.

6.4 Заходи щодо зниження шумового, вібраційного й радіаційного забруднень

З ростом енергооснащеності судів підвищуються рівні шуму й вібрації. Тому проблема зниження шумового й "вібраційного забруднень із кожним роком стає усе більше актуальною. Процеси, що відбуваються в елементах РЛС, супроводжуються пружними коливаннями, що викликають шум, що

поширюється по повітрю (повітряний шум) і у вигляді звукової вібрації по корпусних конструкціях судна (структурний шум).

Рівні шуму суднового головного й допоміжного устаткування становлять: головні дизелі - малооборотні 100 дБ, середньоборотні 105 дБ, високооборотні 110 дБ; вантажні насоси (у насосному відділенні) 115 дБ; високооборотні дизель-генератори 110 дБ; дизель-генератори, турбіни вантажних насосів, водяні живильні й гідравлічні насоси, нагнітаючі й витяжні котельні вентилятори 105 дБ; турбогенератори 100 дБ; головні турбозубчаті агрегати й електродвигуни 95 дБ. У МВ переважає повітряний шум, однак виникає також і структурний шум (наприклад, від гребного гвинта).

Шум, що наносить шкода здоров'ю людей, справедливо називають невидимою отрутою. Боротися із шумом і вібрацією в МВ досить складно. Звичайно для цього передбачають наступні міри: зниження шуму й вібрації в джерелах їхнього виникнення, а також зменшення шуму й вібрації за допомогою засобів звуко-віброізоляції. При проектуванні суднових машин і механізмів шум і вібрацію прагнуть зменшити шляхом включення їхніх припустимих рівнів у специфікацію на поставку встаткування. Аеродинамічний шум, створюваний двигунами й механізмами при усмоктуванні повітря й випуску газів, послабляється шляхом установки глушителя.

Глушители діляться на активні й реактивні. Принцип роботи активного глушителя складається в поглинанні звукової енергії й перетворенні її в теплову за рахунок включення у випускний тракт активного опору (сітки, перфоровані аркуші, звуковбирні матеріали). Реактивні глушители працюють за принципом акустичного фільтра й виконуються у вигляді системи послідовно з'єднаних за допомогою трубок розширювальних або резонансних камер. Реактивні глушители добре заглушають низькочастотні шуми, а активні - високочастотні. При необхідності використовуються комбіновані глушители.

Повітряний шум може бути знижений також при розташуванні механізмів в окремих вигородах або в кожухах, облицьованих звуковбирними матеріалами.

Зменшення структурного шуму й вібрації забезпечується установкою встаткування на віброізолятори. При цьому через ослаблення структурного шуму знижується й повітряний шум у приміщеннях (але загальному рівню на 3-6 дБ, а на високих частотах на 8-12 дБ й більше). У якості віброізолюючого елемента застосовують гуму, металлоткані подушки зі сталевого нержавіючого ультратонкого дроту. Для віброізоляції потужних ДВЗ використовують пневмогидравлічні амортизатори.

За рішенням конференції СОЛАС-74 розроблений Кодекс (Звід правил) по безпеці атомних торговельних судів, що прийнятий в 1981 р. XII асамблеєю ІМО. Відповідно до Кодексу забезпечення безпеки на судах вимагає створення чотирьох послідовно розташованих захисних бар'єрів навколо джерел радіоактивності для запобігання поширення іонізуючих випромінювань і радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Кодекс передбачає наступні захисні бар'єри:

- оболонки тепловиділяючих елементів, що втримують радіактивні продукти розподілу в ядерному паливі;
- міцний перший контур ядерної паровиробничої установки, що запобігає ненавмисне поширення радіоактивних речовин із системи першого контуру;
- захисну оболонку встаткування першого контуру, що передбачає спеціально для обмеження витоку РВ із устаткування;
- захисне огороження, що оточує захисну оболонку й будь-який, пов'язаний з ЕУ джерело РВ.

Захисні міри на судні повинні забезпечувати концентрацію радіоактивних ізотопів, що утворилися в морській воді за час плавання або стоянки в порту, не перевищуючу ГДК для відкритих водойм, регламентовану законодавчими актами.

У потенційно небезпечних приміщеннях підтримується необхідне розрідження повітря системою вентиляції, що працює за відкритою схемою. Повітря, що відсмоктує, викидається через грот-щоглу, попередньо пройшовши

дозиметричний контроль на наявність радіоактивних газів і аерозолів. В аварійних ситуаціях система вентиляції переводиться на замкнуту схему.

На криголамі діє ретельно відпрацьована система радіаційного контролю, функції якої дуже важливі й різноманітні. Дані, що надходять від датчиків радіаційного контролю, централізовано обробляються з виводом на пульт, що дозволяє прогнозувати обстановку й вчасно вживати необхідних заходів. Весь персонал ППУ має індивідуальні дозиметри для контролю зовнішнього опромінення.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі модернізовано автоматизований електропривод суднової РЛС за рахунок системи векторного керування електроприводом змінного струму на основі сучасної елементної бази.

Вибрано та обґрунтовано доцільність вибору кожного із елементів, що входять до складу електроприводу РЛС. Описано принцип роботи та подані детальні технічні характеристики всіх елементів. Створено структурну схему та функціональну схеми модернізованого устаткування.

На основі конкретно вибраних елементів електропривода, розраховані показники надійності системи керування електроприводом РЛС та висунуті пропозиції щодо їх покращення.

Модернізований електропривод має кращі показники якості керування на відміну від базового варіанту, а саме експоненційний перехідний процес за швидкістю та час регулювання 2 с.

Також у магістерській роботі проведено опис заходів щодо охорони праці та навколишнього середовища при експлуатації суднової РЛС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Н.Л. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для студ. Высш. Учебных заведений. – 3-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.
2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский Государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» - Иваново, 2008. – 298 с.
3. Вешенский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. Москва, «Энергия», 1977.
4. Рудаков В.В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Дартау. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 134 с.
5. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. Т. 2 / Под. общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.
6. Справочник по судовому оборудованию, радиосвязи и радионавигации. Т. 2. Оборудование радиосвязи / А.М. Байрашевский, Ю.Е. Горностаев, А.В. Жерлаков и др. – Л.: Судостроение, 1979. – 232с.
7. Судовые РЛС (Атлас). Под. ред. А.М. Байрашевского. Учебное пособие для училищ морского транспорта. М.: «Транспорт», 1977, 144с.
8. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: Учебник для студ. Вузов / В.М. Терехов, О.И. Осипов; Под ред. В.М. Терехова. – 3-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
9. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – М.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
10. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов.- Л., Энергоиздат, 1982.- 392с.

11. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями/ Учебное пособие. СПб: СПб ИТМО, 2006.
12. Lenze Преобразователи частоты серии 8200 vector: Руководство по эксплуатации.
13. <http://www.lenze.org/>
14. <http://www.lenze.org.ua/>
15. <http://www.weg.kiev.ua/>
16. Белов М.П., Зементов О.И., Козярук А.Е., Козлова Л.П., Новиков В.А., Савва С.В., Чернигов Л.М., Горохов С.Г., Татаринцев Н.И. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений/ М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др.; под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. – М.:Издательский центр «Академия», 2006. – 368с.
17. . Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю. Комплектні електроприводи: У 3 ч. Ч. 1: Аналогові комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2010. – 144 с.
18. Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю. Комплектні електроприводи: У 3 ч. Ч. 2: Цифрові комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2014. – 142 с.
19. Комплектні електроприводи. Ч. 3. Сервоелектроприводи [Електронний ресурс] : навч. посібник : електрон. вид. комбін. використання на DVD-ROM. У 3 ч. Ч. 3 Сервоелектроприводи / І. С. Білюк, Д. Ю. Шарейко, А. М. Фоменко, О. В. Савченко; МОН України, НУК ім. адмірала Макарова. – Електрон. дані. – Миколаїв : НУК, 2018. – Назва з етикетки диска.
20. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. – М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с.
21. Hairer, Ernst; Nørsett, Syvert Paul; Wanner, Gerhard (2008), Solving ordinary differential equations I: Nonstiff problems, Berlin, New York: Springer-Verlag.

Модернізація електропривода суднової РЛС

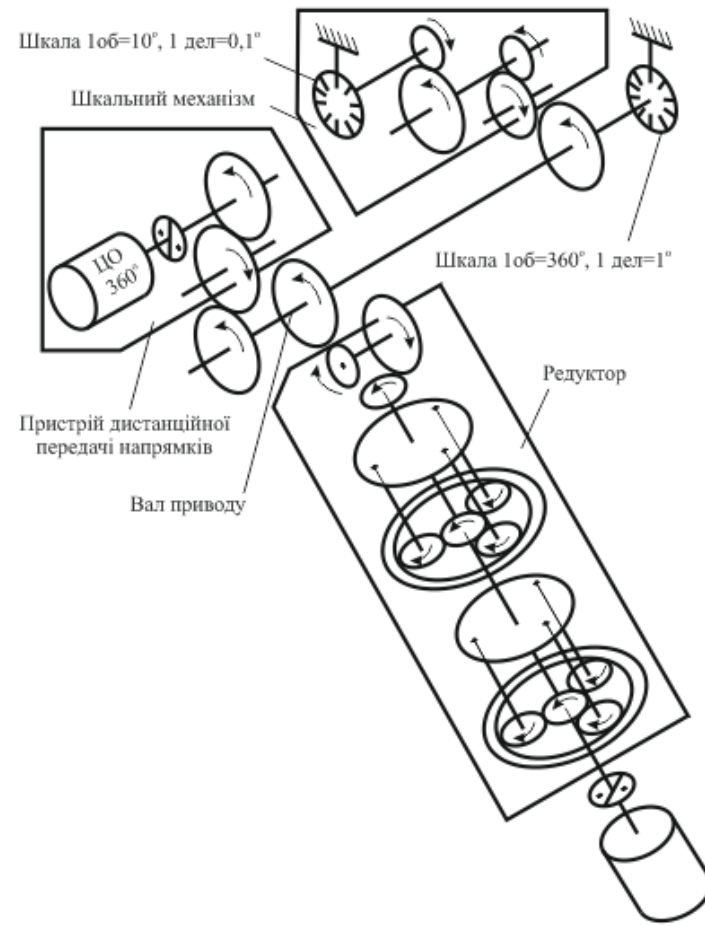
Студент магістратури: Козак Віктор Олександрович

Науковий керівник: к.т.н., доцент Надточій Анатолій Вікторович

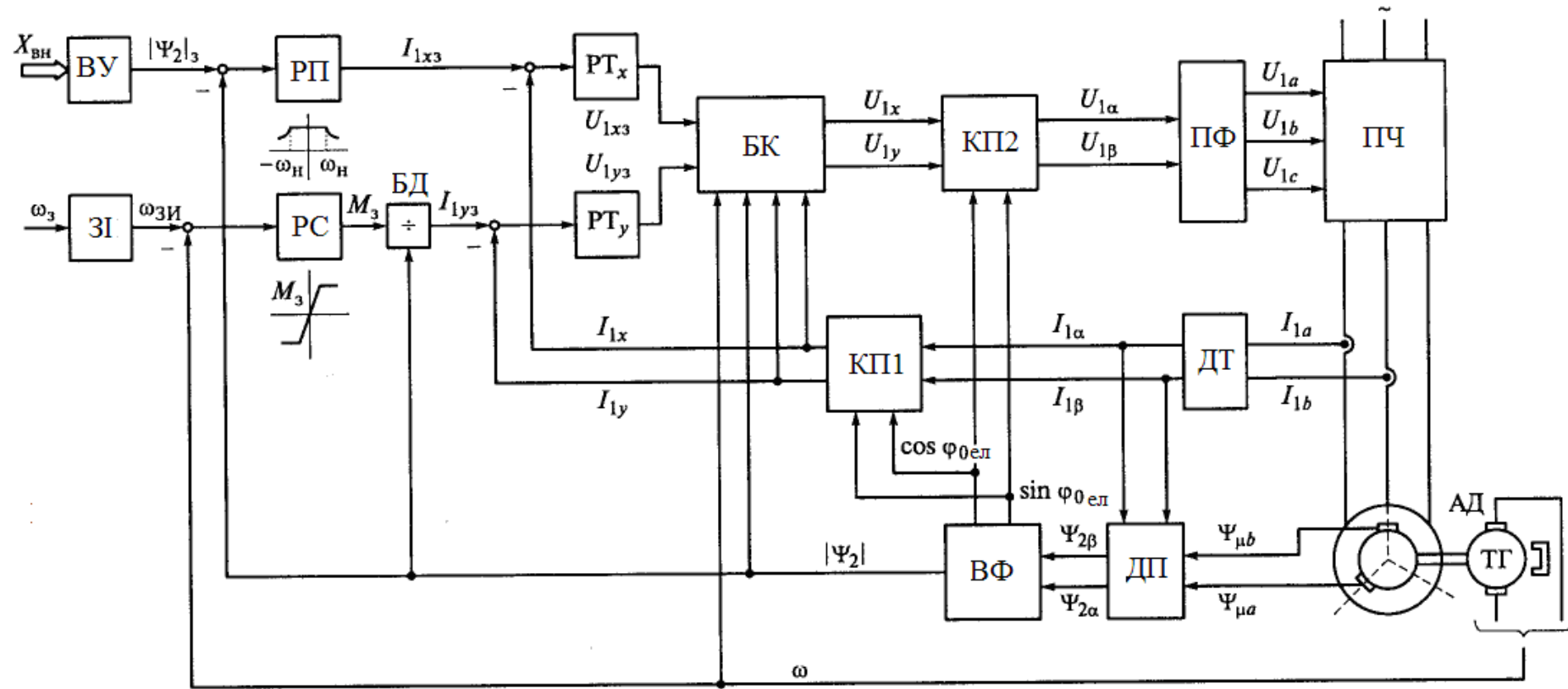
Мета дослідження: На основі сучасних методик провести аналіз і синтез системи керування електроприводом суднової РЛС з технічними даними РЛС типа «Миус». Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз систем керування електроприводу суднової РЛС з метою удосконалення.
- Розрахувати і вибрати елементи системи керування електропривода.
- Провести синтез системи керування автоматизованим електроприводам суднової РЛС.
- Розрахувати надійність модернізованого устаткування.

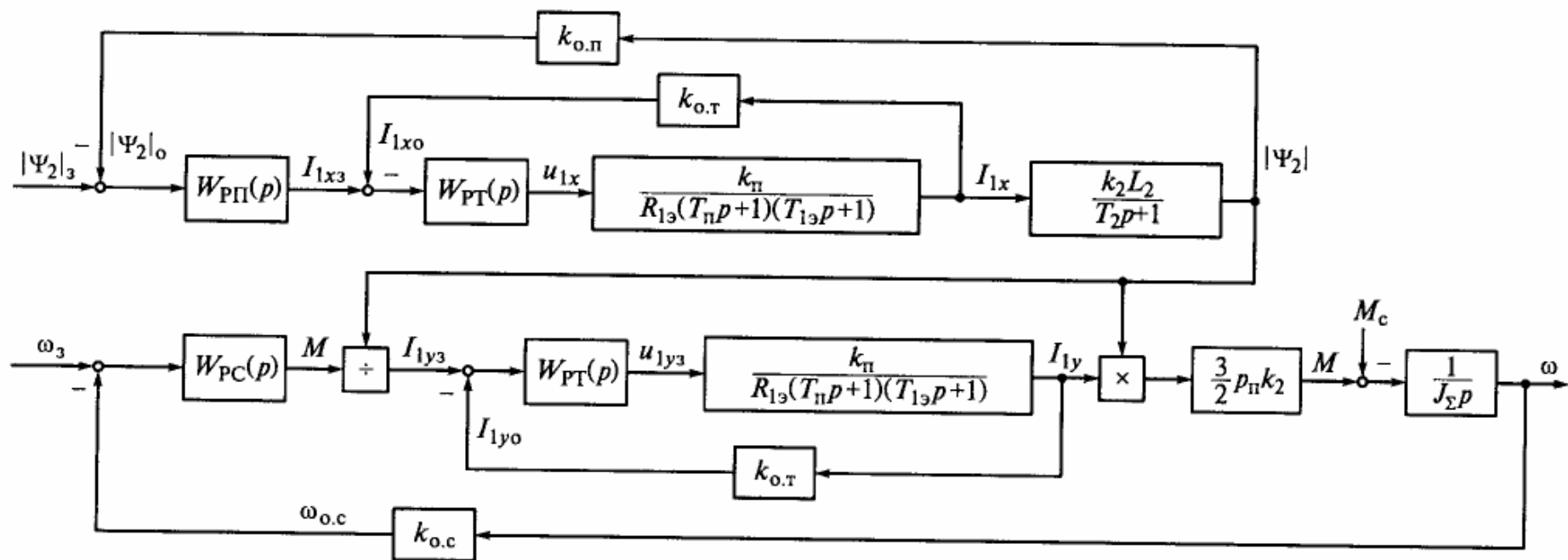
Кінематична схема



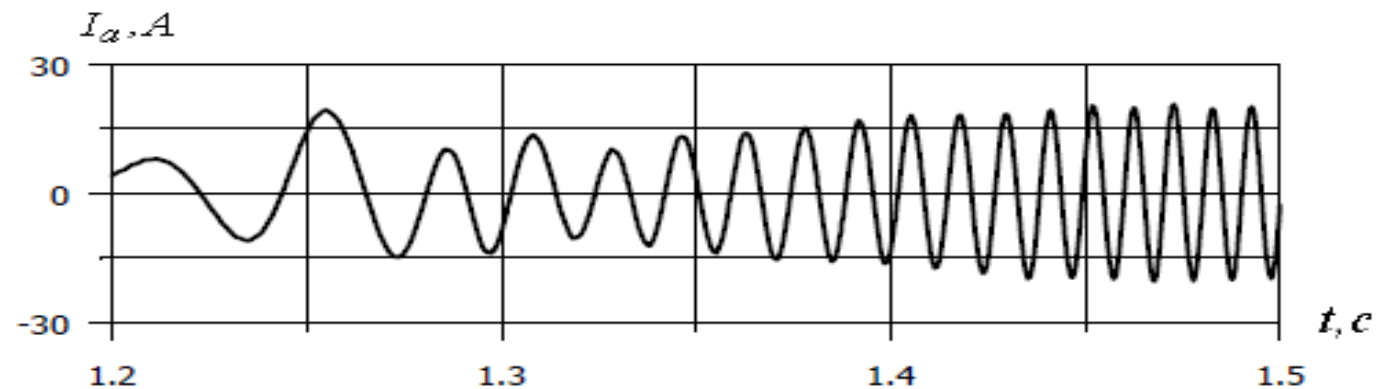
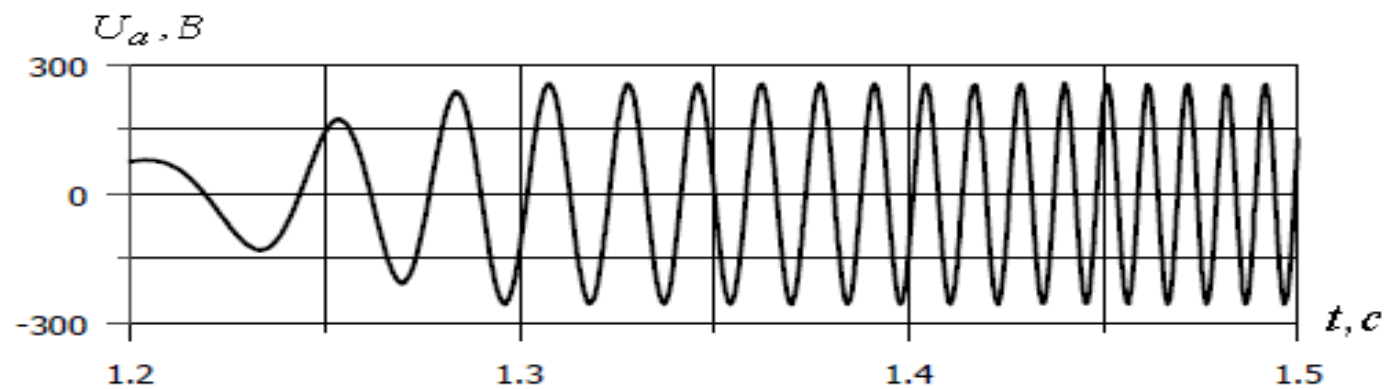
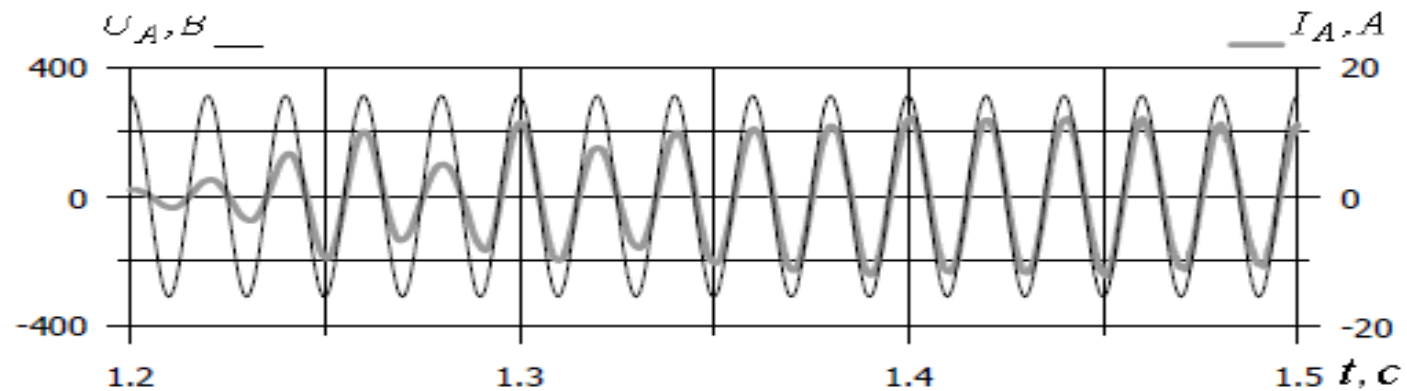
Функціональна схема системи регулювання швидкості АД з управлінням по вектору потокозчеплення його ротора



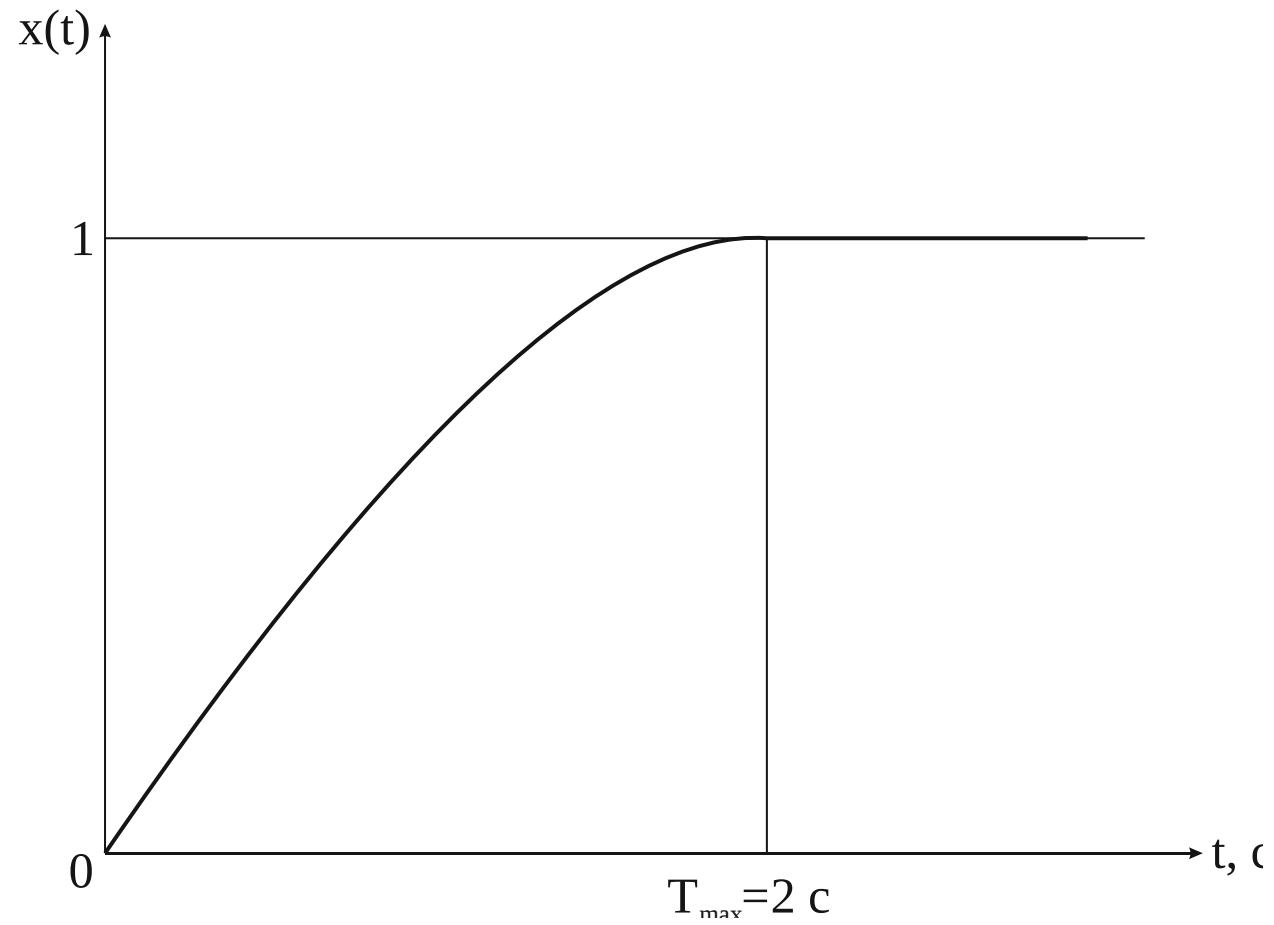
Структурна схема системи ПЧ-АД - при орієнтації координат х, у по потокозчепленню



Часові діаграми змінних в режимі розгону асинхронного приводу по задатчику інтенсивності з $f = 10\text{Гц}$ до $f = 100\text{Гц}$



Результати синтезу з настроєними параметрами регулятора



ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі модернізовано автоматизований електропривод суднової РЛС за рахунок системи векторного керування електроприводом змінного струму на основі сучасної елементної бази.

- Вибрано та обґрунтовано доцільність вибору кожного із елементів, що входять до складу електроприводу РЛС. Описано принцип роботи та подані детальні технічні характеристики всіх елементів. Створено структурну схему та функціональну схеми модернізованого устаткування.
- На основі конкретно вибраних елементів електропривода, розраховани показники надійності системи керування електроприводом РЛС та висунуті пропозиції щодо їх покращення.
- Модернізований електропривод має кращі показники якості керування на відміну від базового варіанту, а саме експоненційний перехідний процес за швидкістю та час регулювання 2 с.
- Також у магістерській роботі проведено опис заходів щодо охорони праці та навколишнього середовища при експлуатації суднової РЛС.