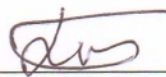


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

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)

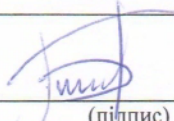
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Розробка та дослідження системи керування електропривода
автоматичної буксирної лебідки

Виконав: студент групи 6372м

Биков Микита Андрійович

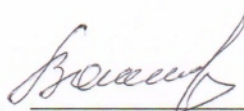
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доцент Васильєв О.Г.

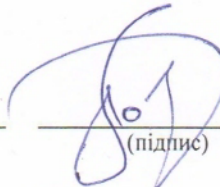
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент

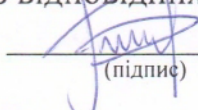
доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент С.М.Новогорецький

(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

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з 112 сторінок: 100 сторінок пояснювальної записки, 5 розділів, 10 таблиць, 31 рисуноків, 19 літературних джерел, 1 додатку на 12 сторінках.

Ключові слова: автоматизація, аналіз динаміки, буксирна лебідка, математична модель, методологія дослідження, система керування, тиристорний електропривод, суднове обладнання

Мета роботи – удосконалення системи керування електропривода суднової лебідки на основі застосування регульованих асинхронних двигунів.

У розділі 1 наведений огляд літератури та розробок за темою, розглянуті типи та робота буксирних пристроїв, наведені технічні дані буксирної лебідки з електричним приводом ЛЕ-38 та її існуюча схема керування.

У розділі 2 обґрунтований та вибраний метод наукового дослідження, побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження, обґрунтований метод вирішення поставленої задачі дослідження.

У розділі 3 вибраний асинхронний електродвигун для привода лебідки, наведена класифікація судових електроприводів, розглянуті існуючі системи авторегулювання автоматичних буксирних лебідок; проаналізовані способи керування швидкістю асинхронного двигуна. Для керування обраним двигуном вибраний трифазний перетворювач частоти серії Siemens Micromaster 440, наведені його технічні дані.

В розділі 4 на основі функціональної схеми електропривода зроблений математичний опис елементів системи керування, проведені розрахунки по їх вибору, складені розрахункові динамічні моделі системи керування та проведений аналіз її динамічних властивостей. Проведений аналіз динаміки спроектованої системи керування при різних законах керування.

В розділі 5 розглянуті питання охорони праці при експлуатації електропривода суднової буксирної лебідки.

Додаток містить 12 слайдів мультимедійної презентації.

ABSTRACT

The master's qualification work consists of 112 pages: 100 pages of explanatory note, 5 sections, 10 tables, 31 figures, 19 literary sources, 1 appendix on 12 pages.

Keywords: automation, dynamics analysis, towing winch, mathematical model, research methodology, control system, thyristor electric drive, ship equipment

The purpose of the work is to improve the control system of the ship's winch electric drive based on the use of regulated asynchronous motors.

Section 1 provides a review of the literature and developments on the topic, considers the types and operation of towing devices, provides technical data of the towing winch with an electric drive LE-38 and its existing control scheme.

Section 2 substantiates and selects the method of scientific research, builds a structural and logical scheme of the master's research, substantiates the method of solving the research problem.

In section 3, an asynchronous electric motor is selected for the winch drive, a classification of ship electric drives is given, existing auto-regulation systems of automatic towing winches are considered; methods of controlling the speed of an asynchronous motor are analyzed. A three-phase frequency converter of the Siemens Micromaster 440 series is selected to control the selected motor, and its technical data are given.

In section 4, based on the functional diagram of the electric drive, a mathematical description of the elements of the control system is made, calculations are made for their selection, calculation dynamic models of the control system are compiled, and its dynamic properties are analyzed. The dynamics of the designed control system is analyzed under different control laws.

In section 5, labor protection issues are considered during the operation of the electric drive of a ship towing winch.

The appendix contains 12 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	9
1.1 Огляд літератури та розробок за темою	9
1.2 Опис об'єкту дослідження. Буксирна автоматична лебідка ЛЕ-38...	15
1.2.1 Призначення, типи та робота буксирних пристроїв	15
1.2.2 Системи авторегулювання автоматичних буксирних лебідок	23
1.2.3 Автоматична буксирна лебідка з електричним приводом ЛЕ-38...	27
1.3 Існуюча схема керування електропривода буксирної лебідки	28
1.4 Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	31
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	31
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження	35
2.3 Вибір методу розрахунку поставленої задачі	37
2.4 Висновки до розділу 2	40
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА	41
3.1 Класифікація суднових електроприводів.....	41
3.2 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна.....	45
3.3 Аналіз систем керування двигунами автоматичних буксирних лебідок	48
3.3.1 Існуючі системи керування автоматичних буксирних лебідок	48
3.3.2 Аналіз систем керування двигунами перемінного струму	54
3.4 Електропривод на базі перетворювача серії Siemens Micromaster 440 для керування асинхронними двигунами	57
3.5 Висновки до розділу 3	63
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА БУКСИРНОЇ ЛЕБІДКИ.....	64
4.1 Розробка функціональної схеми системи керування.....	64

4.2 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням.....	69
4.3 Синтез регуляторів електропривода з частотно-струмовим керуванням.....	76
4.4 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода буксирної лебідки.....	81
4.5 Висновки до розділу 4	89
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДА БУКСИРНОЇ ЛЕБІДКИ.....	90
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання суднових палубних механізмів.....	90
5.2 Заходи з охорони праці при роботі з електроустаткуванням суднового палубного обладнання.....	93
5.3 Висновки до розділу 5	96
ВИСНОВКИ	97
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	99
Додаток А. Мультимедійна презентація.....	101

ВСТУП

Актуальність теми.

Суднові пристрої відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійної й ефективної експлуатації морських суден.

До функцій традиційних суднових пристроїв відносяться керування рухом судна, його утримання в заданому районі акваторії або біля причальної стінки, забезпечення буксирування, вантажних і рятувальних операцій.

В даний час роль буксирування суден підвищилася з ростом морської господарської інфраструктури поза портовим призначенням і затримками в модернізації внутрішньої інфраструктури морських і річкових портів. Така обставина вимагає збільшення потужності, маневреності й адаптації буксирних пристроїв до дії в надзвичайних і аварійних умовах.

Такі аварійні обставини виникають через різновиди буксирних операцій в портових водах та на підходах до них, нештатністю навігаційної обстановки і скоротечністю аварійної морської події або інциденту.

Незважаючи на те, що має місце криза в торговому флоті України, роль буксирних операцій залишається актуальною через мілководдя водних шляхів, вузькість фарватерів, каналів та портових акваторій.

У практиці морських буксирувань особливе місце приділяється ривкам буксирного троса, які викликані: нерівномірною роботою пропульсивного комплексу буксирувальника, нишпореннями судна, яке буксирують, різким поворотом буксирувальника, шквалом, що раптово налетів. Таким чином режим роботи електропривода лебідок є повторно-короткочасним і характеризується зміною навантаження приводного двигуна в широких межах внаслідок зміни прийомів і загальної організації вантажних робіт (підтягування вантажу, спарена робота двох лебідок на один гак і т.п.).

Такі впливи слід зводити до мінімуму при здійсненні переходу. При буксируванні у відкритому морі жорстке закріплення буксирного каната припустиме лише при плаванні в тиху погоду.

На морських судах-буксирувальниках широке застосування одержали лебідки, постачені автоматичними пристосуваннями для травлення (ослаблення) каната при зростанні навантаження на нього й вибирання каната при ослабленні навантаження.

Автоматичні лебідки амортизують зусилля, що виникають у буксирному канаті при ударах хвиль об судна, що буксируються.

У момент ривка, що виникає при шквальному вітрі або при сильному лобовому ударі хвилі в носовий край баржі, що буксирується, двигун такої лебідки автоматично травить буксирний канат, рятуючи, таким чином, останній від небезпечних напруг. Після ривка двигун автоматичної лебідки без якого-небудь впливу ззовні починає вибирати стравлену частину каната, установлює між буксирувальником і баржами вихідну відстань і лише після цього автоматично зупиняється.

Для зупинки чи для уповільнення двигуна крім механічних способів існують і електричні. Найпростіший — це вибіг, коли з двигуна знімають живлення, і він зупиняється по інерції. У цьому випадку час зупинки залежить від багатьох факторів і не піддається регулюванню.

Для керування часом гальмування застосовують генераторний метод. Він полягає в тому, що частотний перетворювач зменшує вихідну частоту до необхідного значення (енергія повертається в первинну мережу). При великому моменті або при швидкій зупинці, щоб уникнути перегріву й виходу з ладу внутрішнього контуру, використовують зовнішній навантажувальний опір, що є недоліком даного режиму.

При динамічному гальмуванні з однієї-двох фаз знімають змінну напругу та подають постійну — при цьому способі не потрібен зовнішній опір. Але ефективність гальмування складає від 30 до 40 % у порівнянні з генераторним способом і час гальмування не регулюється. У частотних перетворювачах використовують комбінований метод, що включає в себе всі переваги вищеописаних методів.

При застосуванні регульованого електропривода з перетворювачами частоти з'являється можливість відмовитися від технічно складних механічних редукторів і варіаторів, забезпечити роботу на знижених частотах обертання із зменшенням циклічних динамічних і вібраційних навантажень на підшипники, елементи кріплення, фундаменти електродвигунів. Зупинка електроприводів агрегату за рахунок рекуперативного електричного гальмування забезпечує повернення електроенергії в мережу живлення. Коефіцієнт корисної дії пристроїв частотно-регульованого електропривода може досягати 98%. За оцінками фахівців, застосування частотно-регульованого електропривода може забезпечити економію електроенергії близько 50% порівняно з нерегульованим варіантом.

Подальший розвиток електропривода вантажопідйомних пристроїв, у тому числі суднових, іде по шляху вдосконалювання електроустаткування із багатодвигунними асинхронними двигунами, а також впровадження тиристорних електроприводів постійного й змінного струму, які забезпечують необхідний діапазон зміни робочих швидкостей, достатній для оперативної й безпечної роботи.

Безпека буксирних систем при маневруванні особливо в морських і річкових портах України та на підходах до них багато в чому залежить від чіткої, безперебійної роботи палубного обладнання.

Рівень енергоємності та автоматизації сучасних суден незмінно збільшується, підвищується середня потужність суднових електроустановок, що обумовлює **актуальність** підвищення надійності суднового електроустаткування.

Таким чином, дослідження та удосконалення системи керування електропривода буксирної лебідки з метою забезпечити стійкий рух буксирної системи, стабільний та безпечний процес буксирування суден в різноманітних умовах експлуатації є актуальною задачею.

Мета і завдання дослідження. Магістерська робота присвячена дослідженню динамічних властивостей системи керування електропривода буксирної лебідки.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглядаються й вирішуються наступні завдання:

- огляд сучасних систем керування електроприводів, умов їх роботи і методів розрахунку;
- розрахунки параметрів системи керування електропривода для наступного моделювання;
- теоретичне і комп'ютерне дослідження значень основних показників якості роботи САК;
- моделювання в математичній програмі Simulink пакету Matlab системи керування буксирної лебідки, як об'єкту керування;
- аналіз результатів моделювання й обґрунтування правильності вибору системи керування.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у енергозберігаючому електроприводі суднової буксирної лебідки.

Предмет дослідження: динамічні характеристики системи, параметри, що забезпечують підвищення надійності електропривода буксирної лебідки.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених завдань були проведені теоретичні дослідження на основі теорії автоматичного керування, теорії електропривода, теорії лінійних електричних кіл з використанням математичного моделювання на основі диференційних рівнянь та структурних схем.

За допомогою програмного забезпечення для персональних комп'ютерів Simulink пакету Matlab були змодельовані математичні моделі системи керування, яка досліджувалася.

Практичне значення одержаних результатів мають математичні та імітаційні моделі систем керування, які є зручними інструментами для дослідження характеристик електропривода суднової буксирної лебідки та аналізу алгоритмів керування.

Публікації. Результати кваліфікаційної роботи магістра, що виноситься на захист, опубліковані у збірнику Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Автоматика та електротехніка – 2024». – Миколаїв : НУК, 2024. – с. 101-104..

Розділ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Огляд літератури та розробок за темою

Морським флотом здійснюється переважна більшість транспортних перевезень для світового ринку товарів і сировини. Зниження витрат енергії на одиницю перевезеного вантажу за рахунок підвищення енергоефективності морських суден дозволяє з одної сторони знизити вартість морських перевезень, а з другої запобігає забрудненню повітряного середовища з суден та сприяє зниженню обсягу викидів вуглекислого газу в атмосферу об'єктами морського транспорту.

Розвиток електроустаткування суден тісно пов'язаний з розвитком електротехніки й електротехнічної промисловості й має багаторічну історію, початок якій поклав академік Б.С. Якобі. В 1838 році він випробував перше у світі судно з електричною гребною установкою. Історія розвитку суднового електропривода продовжилася впровадженням електровентиляторів на ряді крейсерів в 1886 г [12].

Пізніше електроенергія на суднах стала використовуватися для освітлення, а також для живлення сигнальних і розпізнавальних вогнів.

Початок застосування електротехніки для суднових електроприводів відноситься до кінця XIX ст. і пов'язаний з установкою електровентиляторів на крейсерах «Лейтенант Ільїн» і «Адмірал Нахімов».

У наступні роки процес електрифікації суден безупинно триває, що пояснюється зростанням надійності електричних машин, їх високим ККД., легкістю перетворення електроенергії в інші види енергії. Електрифікуються механізми машинного відділення, побутові споживачі й ряд інших установок і механізмів.

У процесі свого розвитку електроустаткування суден виконувалося як на постійному, так і на змінному струмі, однак починаючи із середини XX ст. був

узятий курс на впровадження трифазного змінного струму, що має ряд істотних переваг у порівнянні з постійним. Головним з них є висока надійність електричних машин, а також простота перетворення змінної напруги в різні рівні напруги, а також у напругу постійного струму.

Сучасні судна характеризуються високим ступенем електрифікації. Електроенергія широко використовується для керування судном, для роботи різних допоміжних і палубних механізмів, для радіо- і електронавігаційних приладів, для здійснення внутрішньосуднового зв'язку й сигналізації, побутових цілей.

Останні досягнення автоматичного керування, обчислювальної й напівпровідникової техніки уможливили автоматизацію всіх виробничих процесів на судні.

Орієнтуючись на деякі показники, такі, як середня кількість установлюваного електроустаткування й середня потужність суднових електроустановок, можна констатувати, що в цей час рівень електрифікації суден безупинно підвищується.

На сучасних морських судах установлюються сотні електричних машин і десятки тисяч електричних апаратів і приладів, прокладаються сотні кілометрів кабелю. Потужність суднових електростанцій досягає декількох тисяч кіловат, а потужність окремих електроприводів становить кілька сотень кіловатів. Очікується, що в недалекому майбутньому деякі судна будуть мати електростанції потужністю 50-200 мВт.

Суднові електроприводи є основними споживачами електроенергії, вироблюваної судновий електроенергетичної системи (СЕЕС).

Перший електропривод кермового пристрою був використаний на крейсері «Дванадцять апостолів» в 1892 г., а перша вітчизняна вантажна електролебідка була встановлена на транспортері «Європа» в 1897 г. Протягом наступних 6-8 років електрифікуються якірні пристрої, насоси, повітродувки, компресори, установки озброєння.

Перші суднові електроприводи виконувалися винятково на постійному струмі напругою, що не перевищує, як правило, 110 В.

З 1908 р. починається впровадження суднових електроприводів змінного струму. На суднах установлюються трифазні електродвигуни вентиляторів і водовідливних насосів, повністю електрифікуються допоміжні механізми із застосуванням електроприводів змінного трифазного струму.

У період з 1960-го по 1970-ті рр. здійснюється перехід до використання на суднах електроенергії переважно змінного струму. Важливу роль у цьому зіграло впровадження багатошвидкісних асинхронних електродвигунів (серія МАП).

Тема магістерської роботи пов'язана із сучасною технікою, визнаним інструментом дослідження якої є математичне моделювання, тому і огляд розробок необхідно робити, спираючись на сучасну приводну техніку та літературу по моделюванню, по теорії частотного керування та перетворювальної техніки.

Сучасний електропривод – це електромеханічна система, що включає силовий перетворювач, електродвигун, передавальний механізм і систему керування, яка призначена для приведення в рух робочих органів машин і механізмів. Електропривод – основний споживач електроенергії: більше 60 % усієї електроенергії, яка виробляється в країні, перетворюється на механічну роботу за допомогою електропривода. За сучасних умов особливого значення набуває комплекс питань, пов'язаних з енергозбереженням в електроприводі, оскільки, з одного боку, особливо гострою стала проблема економії електроенергії, і, з іншого – з'явилися реальні можливості її ефективного розв'язання.

Останні десятиліття характеризуються бурхливим розвитком технічних засобів керування: силових напівпровідникових приборів, елементів мікроелектроніки, мікропроцесорної техніки і т. п., що призвело до можливості принципового розширення функцій, які виконуються сучасними автоматизованими електроприводами, включаючи керування режимами, енергозбереження, діагностування несправностей і т. п. [16].

Останні досягнення автоматичного керування, обчислювальної та напівпровідникової техніки уможливили автоматизацію всіх виробничих процесів на судні.

Обсяг автоматизації і ступінь централізації керування і контролю забезпечує маневреність судна при всіх умовах плавання, не вимагаючи присутності обслуговуючого персоналу в машинних приміщеннях.

Останнім часом у суднобудуванні широке застосування знайшли нетрадиційні спеціальні пристрої й механізми. На буксирах і судах для лову риби використовуються буксирні й промислові лебідки всіляких конструкцій.

Питання конструкції, складу, особливості експлуатації суднових вантажопідійомних механізмів розглянуті в роботах Александрова М.Н., Міронова В.В. [2,13] та ін.

В роботах Головина Ю. К., Локарева В.И., Чекунова К.А., Ягодкина В.Я. наведені дані з теорії суднового електропривода, розглядаються системи електропривода та питання вибору схем керування суднових робочих механізмів.

На розвиток теоретичних розробок та практичне вдосконалення ЕП, орієнтовані роботи Б.І. Абрамова, А.В. Башаріна, А.П., Богословського, І.Я. Браславського, та ін.

Будівництво суден різного призначення, водотоннажності та швидкості призводить до необхідності розробки та створення різноманітних, іноді принципово нових систем електропривода (ЕП), оптимізації механічних характеристик електродвигуна (ЕД), збільшення їх потужності та підвищення надійності ЕП. На розвиток теоретичних розробок та практичне вдосконалення ЕП, включаючи вирішення основних завдань енергозбереження, орієнтовані роботи Б. І. Абрамова, А. В. Башаріна, А. П. Богословського, І. Я. Браславського, Д. Г. Жимеріна, Г. І. Китаєнко, Г. М. Мустафи, Є. Г. Подобедова, В. В. Тихонова, І. М. Шаранова, В. А. Шубенко, А. Г. Яуре та ін.

До основних складових частин ЕП, включаючи суднові, насамперед відносяться ЕД, які є електромеханічними перетворювачами. Дослідженням електричних машин присвячені роботи А. І. Вольдека, А. В. Іванова-Смоленського, Є. Я. Казовського, І. П. Копилова, М. П. Костенко, А. М. Мейстеля, І. І. Петрова, Л.М. Піотровського та ін Зростання споживання енергоресурсів та збільшення

вартості енергії на сучасному етапі ставлять завдання підвищення енергозбереження [13].

В посібнику Поповича О.Ю. [9] розглянуто сучасні керовані електроприводи із застосуванням новітніх методів керування; загальні питання енергозбереження, застосування екстремальних енергозбережних систем. В роботі [13] розглядаються процеси суднових робочих механізмів, що визначають навантажувальні режими приводних електродвигунів, і методи побудови навантажувальних діаграм електропривода, а також проектування основних суднових електромеханізмів і їх оптимізації.

Питання математичного моделювання електромеханічних систем наведені в роботі Гераїмчука М.Д. [7].

Дослідження перехідних процесів у складній системі машин і автоматичних регуляторів суднової електроенергетичної системи вимагає вдосконалювання методики рішення систем диференціальних рівнянь із використанням сучасних пакетів програм.

Дотепер розрахунки процесів у суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) при проектуванні проводилися за допомогою систем диференціальних рівнянь і методик, наведених в офіційних стандартах суднобудівної промисловості: ОСТ5.6030.72 і ОСТ5Р.6181-81 [14]. Для вдосконалювання методів розрахунків процесів у СЕЕС в наш час використовуються нові технічні засоби розрахунків перехідних процесів у вигляді пакета Matlab-simulink. (Simulink є додатком до пакета MATLAB) [7].

Програмне середовище MATLAB (MATrix LABoratory) посідає особливе місце серед сучасних систем комп'ютерної математики, яка є провідною на підприємствах військово-промислового комплексу, енергетики, аерокосмічної галузі, автомобілебудування тощо.

Огляд розробок сучасної приводної техніки.

Сучасні електродвигуни, використовувані в різних галузях промисловості, у транспортній і енергетичній сферах, у комунальному господарстві вимагають нових енергозберігаючих методів керування. У цей час керуючі системи будуються

на основі частотних перетворювачів, що забезпечують автоматичне регулювання напруги й швидкості обертання ротора залежно від навантаження й потреб технологічного процесу. Частотні перетворювачі підбирають по потужності електродвигуна, враховуючи також точність і діапазон регулювання швидкості обертання ротора [10,16].

Теоретичні основи методу векторного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна були сформульовані ще в 1970-х роках у Росії, Японії й Німеччині. Першій на практиці їх застосувала компанія Siemens, що розробила систему «трансвектор». У Європі й США аналоги останньої одержали широке поширення. Цікаво, що зрештою світовим «законодавцем мод» у сфері розробки й виробництва частотних перетворювачів стала датська компанія Danfoss.

Вибір іноземної продукції досить багатий. І якщо американські «частотники» у нас практично не використовуються, то європейські, японські й тайваньські вкрай популярні.

Сучасний ринок перетворювальної техніки для електроприводу представлений різними фірмами-виробниками ПЧ: азійськими (китайськими, японськими, корейськими), європейськими, американськими, російськими і вітчизняними. Різноманітний асортимент продукції цих фірм дає можливість здійснити вибір ПЧ з оптимальним співвідношенням вартості й функціональності.

Нижче наведені дані про виробників найбільш затребуваних вітчизняних і закордонних частотних перетворювачів.

Веспер. Виробник силової перетворювальної техніки, що успішно працює на ринку з 1992 року. Випускає сім серій частотних перетворювачів, серед яких є багатофункціональні, застосовні в більшості існуючих промислових механізмів.

Danfoss. Датська промислова компанія, що випускає перетворювачі частоти для використання в системах водопостачання й водовідводу, опалення, вентиляції й кондиціонування. Світовий експерт у питаннях енергозбереження.

ABB. Міжнародний електротехнічний концерн, що утворювався при злитті компаній зі Швеції й Швейцарії. Випускає низьковольтні перетворювачі частоти

для масового застосування у всіх областях промисловості й у комунальній сфері. Продукція ABB широко застосовується в нафтогазовій галузі.

Schneider Electric. Німецький електротехнічний концерн. Устаткування компанії встановлюється на серійних трансформаторних підстанціях, розподільних пунктах і інших об'єктах інфраструктури міст, а також у звичайних житлових будинках. Частотні перетворювачі випускаються також під брендом Telemecanique.

Delta Electronics. Ця тайваньська компанія виробляє частотні перетворювачі Delta уже більше 20 років. У цей час випускається вісім серій для двигунів потужністю від 40 Вт до 220 кВт. Ця продукція використовується в системах центрального водопостачання житлових будинків і промислових об'єктів.

Vacon. Відома фінська компанія, що в 2014 році стала частиною концерну Danfoss. Особливістю перетворювачів частоти Vacon є модульність, завдяки чому замовник може вибрати зручну конфігурацію, не переплачуючи за непотрібні компоненти. Устаткування Vacon можна побачити на великих водоканалах.

Донедавна вибір виробника частотних перетворювачів здійснювався компаніями один раз і надалі не мінявся. Однак у нинішніх реаліях багатьом доводиться заощаджувати не тільки електроенергію, але й бюджети на автоматизацію й енергозберігаючі технології. Це вагомий привід переглянути свої погляди на постачальників, адже вітчизняні рішення для підприємства здатні окупитися буквально за кілька місяців.

Таким чином, сучасна перетворювальна приводна техніка розвивається, постійно вдосконалюється, підвищуючи якість технологічних процесів.

1.2 Опис об'єкту дослідження. Буксирна автоматична лебідка ЛЕ-38

1.2.1 Призначення, типи та робота буксирних пристроїв

Порти не завжди можуть забезпечити своїми засобами суднові вантажно-розвантажувальні роботи.

Суднові пристрої відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійної й ефективної експлуатації морських суден, а також безпеки людей, що перебувають на борті. При всьому різноманітті виконуваних функцій і конструктивних типів вони мають загальну ознаку – їх основні елементи розташовуються поза корпусом судна.

До функцій традиційних суднових пристроїв відносяться керування рухом судна, його втримання в заданому районі акваторії або біля причальної стінки, забезпечення буксирування, вантажних і рятувальних операцій.

Навантаження суден у морі й на зовнішніх рейдах проводиться також за допомогою **суднових вантажопідйомних механізмів**. Тому більшість суден, призначених для перевезення генеральних вантажів, оснащується власними вантажопідйомними механізмами.

Усі вантажопідйомні механізми по конструктивному виконанню можна підрозділити на чотири групи: лебідки, крани, підйомники, транспортуючі механізми.

На сучасних суднах залежно від їхнього призначення встановлюються такі буксирні й суднові лебідки [2,13]:

- якірно-швартовна лебідка для забезпечення стоянки плавучого ремонтного засобу на якорях, а також для почергового підтягування до якорів при наведенні над місцем виконання робіт і виконання швартовних операцій при підтягуванні плавучого засобу- до до пірса;

- лебідка якірна;

- лебідка електрифікована швартовна, яка призначена для виконання швартовних операцій і надійної стоянки відшвартованого судна біля причалу з використанням синтетичних і сталевих канатів, а також для привода брашпильної приставки;

- тягова лебідка, застосовувана при траловому лові;

- трапова лебідка призначена для підйому, опускання й утримання забортних трапів.

У групі лебідок по призначенню розрізняють лебідки вантажні й спеціальні. До спеціальних відносяться лебідки топенантні, буксирні, тралові, лебідки для підйому шлюпок, трапів і ін. Залежно від приводу розрізняють парові, електричні й гідравлічні лебідки.

Буксир – самохідне судно для буксирування і кантування інших суден і плавучих споруд.

Буксирний пристрій, що встановлюється на буксирних суднах, призначений для буксирування несамохідних суден і плавзасобів, а також самохідних суден, які втратили можливість рухатися своїм ходом.

Рисунок 1.1 показує роботу буксира



Рисунок 1.1 - Буксирування судна за допомогою буксира

Буксирна лебідка в складі буксирного пристрою призначена для травлення, вибирання, утримання й зберігання буксирного каната.

Буксирні лебідки встановлюють на буксирних суднах і криголамах. По призначенню вони розділяються на основні й допоміжні, за принципом дії — на лебідки простої дії й автоматичні, а по приводу — на парові, електричні й гідравлічні. На морських суднах установлюють як прості лебідки, так і автоматичні з електричним і гідравлічним приводами, причому найбільшим поширенням користується електричний привод.

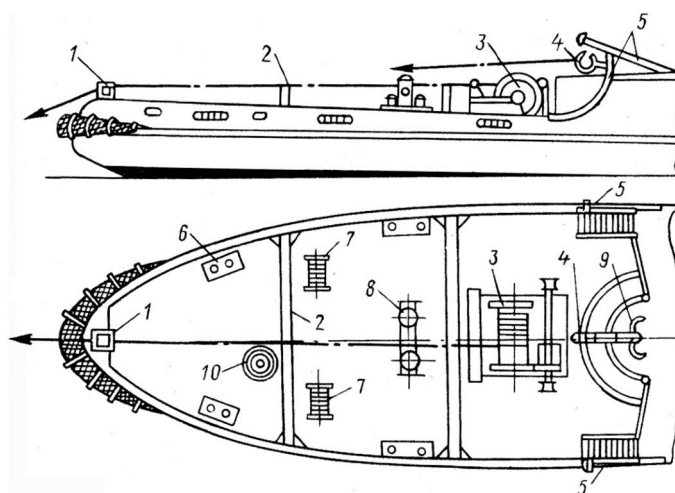
Основні буксирні лебідки використовуються безпосередньо для буксирування суден, плотів, плашкоутів і т.п., допоміжні — для операцій по подачі

й вибиранню буксирних тросів-провідників, а також при швартуваннях судна. На транспортних суднах лебідки встановлюють на кормі, а на буксирних — у середній частині судна.

Буксирування за допомогою закріплення каната на загальмованому барабані в морських умовах припустиме лише при плаванні в тиху погоду. Навіть при відносно невеликому хвилюванні буксирний канат доводиться закріплювати іншим способом.

При ході на хвилюванні для поглинання миттєвих динамічних навантажень необхідний барабан, здатний повернутися за рахунок деформації пружин гальмового амортизатора не на якусь частку оберту, а на декілька повних. Цій вимозі задовольняють буксирні лебідки автоматичної дії. Такі лебідки можуть працювати в автоматичному режимі й при ручному керуванні. В автоматичному режимі лебідка травить буксирний канат з появою зусиль, що перевищують граничні, і вибирає буксирний канат при зменшенні навантаження нижче нормальної, а також утримує буксирний канат при навантаженнях, що не виходять за межі натягу каната.

На рисунку 1.2 показане розташування буксирного пристрою на морському буксирі.



- 1 - буксирний клюз; 2 - буксирна арка; 3 - буксирна лебідка; 4 - буксирний гак;
 5 - обмежувач буксирного троса; 6 - швартовний кнехт; 7 - вьюшка з тросом;
 8 - бітенг; 9 - буксирна дуга; 10 - швартовний шпиль

Рисунок 1.2 - Розташування буксирного пристрою на морському буксирі

На вимогу Регістру судноплавства України [14], необхідно забезпечити можливість буксирування будь-якого судна іншими суднами. Для цієї мети на кожному судні повинен бути буксирний трос.

Судна-Буксири мають спеціально обладнаний буксирний пристрій, до складу якого входить і буксирна лебідка. Буксирна лебідка сучасного буксира-рятувальника повинна працювати на режимах ручного й автоматичного керування, тобто повинна бути обладнана пристроєм, що забезпечує постійний номінальний натяг буксирного троса. Якщо натяг буксирного троса стає менше номінального, трос автоматично вибирається, а якщо більше — потрапляється.

Буксирна лебідка призначена для регулювання в процесі буксирування довжини та натягу буксирного троса. Довжину зазвичай змінюють тільки під час буксирування суден внутрішніми водними шляхами в умовах звивистого фарватеру, при проході бистрин, перекатів та інших місць, коли доводиться зменшувати відстань між буксиром і судном. Натяг троса необхідно регулювати тільки при морському буксируванні в умовах хвилювання, коли трос поперемінно то послаблюється, то надмірно натягується.

Буксирна лебідка має барабан, що дозволяє приймати до 300 м троса на річкових суднах та до 900 м (на морських).

Основні вимоги, що пред'являються до буксирного пристрою: зв'язок (буксирний трос) між буксировщиком і буксированим судном повинен бути настільки еластичним, щоб ривки на хвилюванні не викликали розриву тросу; мінімальна довжина буксирного троса при буксируванні на тихій воді повинна бути такою, щоб буксируване судно знаходилося за межами дії потоку води, що відходить від гребних гвинтів буксирного судна; довжина буксирного троса повинна бути 500 - 800 м; буксирний трос, що проходить до кормового буксирного клюза, не повинен заважати відкриванню кришок світлового люка машинного приміщення і проведенню необхідних судових робіт в кормовій частині палуби судна; буксирний бітенг і обмежувачі буксирного троса мають бути розміщені так, щоб при розвороті буксира буксирний канат не міг пошкодити конструкції корпусу і предмети, що знаходяться на палубі судна.

Буксирні лебідки бувають автоматичні і неавтоматичні. Автоматичні лебідки амортизують зусилля, що виникають в буксирному тросі при ударах хвиль об буксируване судно. У першу чергу ними обладнують морські та озерні буксирні рятувальники, а також судна, що працюють на прибережних гирлових ділянках великих річок.

У момент ривка, що виникає при шквальному вітрі або при сильному лобовому ударі хвилі в ніс баржі, що буксирується, двигун такої лебідки автоматично відпускає буксирний трос, позбавляючи, таким чином, останній від небезпечних напруг. Після ривка двигун автоматичної лебідки без будь-якого впливу ззовні починає підтягувати трос, встановлюючи між буксировщиком і баржою вихідну відстань, і лише після цього автоматично зупиняється.

Такі буксирні лебідки оснащують лічильником довжини витравленого буксирного троса та звуковою сигналізацією, що спрацьовує, коли на барабані залишається тільки три шлага.

Автоматична буксирна лебідка – це складний і дорогий механізм, що вимагає багато місця на палубі і кваліфікованого догляду в експлуатації.

Неавтоматична буксирна лебідка повинна гарантувати підтягування буксируваного складу при зменшеній швидкості руху буксира, що дозволяє без істотного збитку для експлуатації обійтися лебідкою порівняно невеликої потужності. Зрозуміло, що неавтоматичні буксирні лебідки не можуть забезпечити еластичний зв'язок буксира з буксируваними судами. Однак вони простіше та дешевше автоматичних лебідок.

Сучасні буксирні лебідки в залежності від роду використовуваної енергії діляться на електричні та гідравлічні.

У гідравлічної лебідки робоча рідина (масло) надходить у гідродвигун під тиском від насоса, що приводиться в дію електродвигуном. Завдяки гідроприводу частоту обертання барабана лебідки можна регулювати в необхідних межах.

На річковому флоті застосовуються в основному неавтоматичні електричні буксирні лебідки.

Після переходу суднових електростанцій на змінний струм на сучасних судах палубні механізми, у тому числі буксирні лебідки, були оснащені адаптованими до морських умов 2÷3 швидкісними асинхронними двигунами типу МАП. На буксирних судах, що проводять буксирування у відкритому морі, а також на рятувальних та криголамних судах для автоматизації буксирних лебідок встановлюють додаткові елементи. Один із них - вимірювальний пристрій із планетарною передачею, який вимірює тягове зусилля троса.

Кінематична схема автоматизованої буксирної лебідки із планетарною передачею показана на рисунку 1.3 [13].

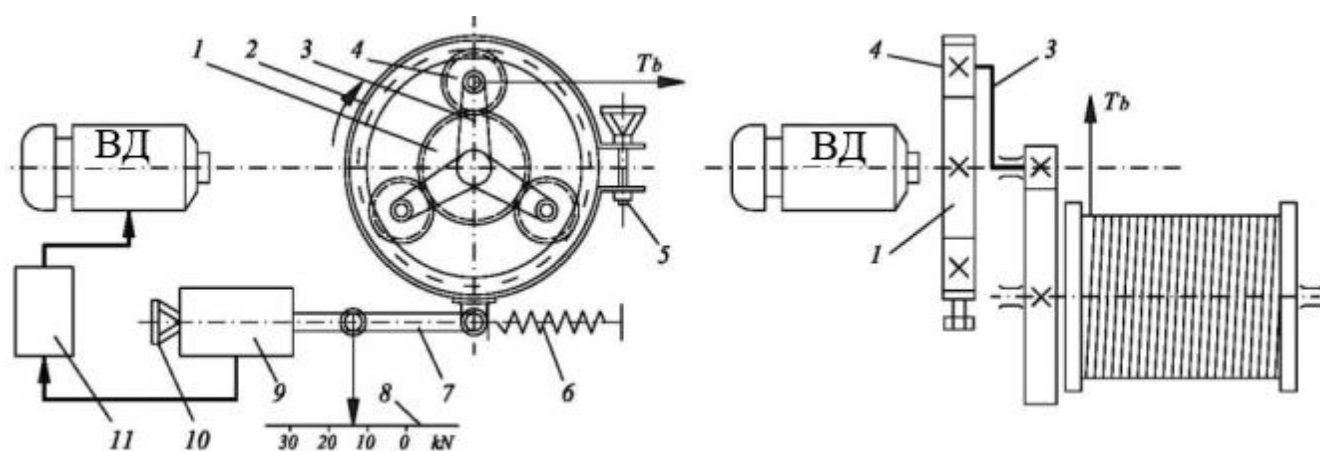


Рисунок 1.3 – Кінематична схема автоматизованої буксирної лебідки з вимірювальним пристроєм із планетарною передачею

Основне зубчасте колесо 1 редуктора рухається виконавчим тришвидкісним асинхронним двигуном (ВД) типу МАП. Планетарне зубчасте колесо 4, що обертається, передає обертання барабану за допомогою прикріплених до нього сателітів. При загальмованому двигуні тягове зусилля, що діє на барабан, повертає його на певний кут. Цей кут повороту передається до прикріпленого до осі барабана зубчастого колеса та за допомогою сателітів на лицьовий гальмівний зубчастий кожух 2. Поворот цього кожуха на певний кут змінює натяг або стиснення пружини вимірювального пристрою 6. У статичному стані пристрою, тобто при рівності тягового зусилля троса заданого значення, сила тяги пружини створює рівність з тяговим зусиллям барабана. При зміні тягового зусилля на барабані (наприклад зі збільшенням) також змінюється стан гальмівного кожуха. Поворот гальмівного кожуха є причиною розтягування пружини 6 вимірювального пристрою. Розтяг

пружини 6 передається на показник 8 і на контактний механічний датчик 9 за допомогою осі 7. За допомогою маховика 10 визначається постійне значення тягового зусилля. На датчику 9 розташовані контакти, що керують магнітною станцією 11 двигуна. При відхиленні значення тягового зусилля на барабані від заданого, різниця тягових зусиль при цьому впливає на вісь 7, яка переміщуючись закриває певні контакти датчика 9, цим отримують живлення котушки керування лінійного контактора і одного з контакторів напрямку (травити і вибирати) розташовані в магнітній станції 11. Таким чином, від впливу датчика двигун запускається в потрібному напрямку і тягове зусилля в тросі, повертаючись у початкове значення, відкриває закриті контакти датчика, струм в обмотках закритих контакторів припиняється, що призводить до зупинки двигуна.

Така система керування має низку недоліків. Серед них ступінчасте регулювання швидкості, здійснення керування за допомогою контакторів, великі масогабаритні показники двигуна (оскільки на статорі розташовані три трифазні обмотки) і найголовніше, нездатність повного забезпечення регулювальної характеристики двигуна буксирної лебідки.

Для усунення цих недоліків запропонована нова автоматична система: контактний датчик 9 був замінений на диференціальний трансформаторний датчик, а контактори магнітної станції замінили напівпровідниковим частотним перетворювачем 11 з ланкою постійного струму. На рисунку 1.4 показана кінематична схема такої автоматизованої буксирної лебідки [13].

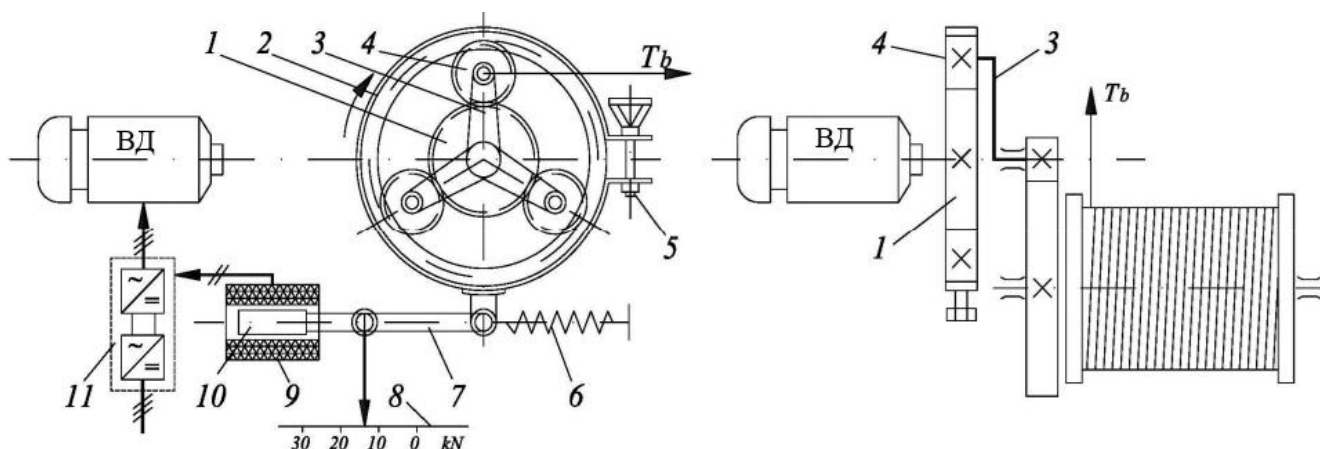


Рисунок 1.4 – Кінематична схема буксирної лебідки, керована за допомогою частотного перетворювача

У кінематичній схемі, показаній на рисунку 1.4, вимірювання тягового зусилля на барабані як і на рисунку 1.3 здійснюється за допомогою пристрою з планетарною передачею. Тільки тут прямолінійний рух осі 7 механічно пов'язаної з пружиною 6 та гальмівним кожухом 2, передається не на механічний контактний датчик, а на сердечник датчика диференціального трансформатора. Тобто, коли фактичне тягове зусилля в барабані відрізняється від заданого значення, то під дією різниці цих сил вісь 7 надає рух сердечнику датчика диференціального трансформатора 9 і на вихідній обмотці трансформатора наводиться ЕРС. Під дією ЕРС на частотний перетворювач із широтно-імпульсною модуляцією 11 електричний двигун запускається в потрібному напрямку.

1.2.2 Системи авторегулювання автоматичних буксирних лебідок

В даний час не існує єдиного підходу до встановлення оптимального режиму чи програми для автоматизованих буксирних лебідок (АБЛ), тому умови роботи АБЛ в кожному конкретному випадку індивідуальні.

Загальноприйнятим поняттям для автоматизації автоматичних буксирних лебідок є стабілізація натягу буксирних кінців на необхідному заданому рівні. АБЛ автоматично при збільшенні натягу на канаті стравлює його або підбирає слабіну при зміні натягу. Особливість механізму лебідки як системи авторегулювання полягає в натягу (ослабленні) буксирного канату, це є збурюючим фактором і регульованим параметром АБЛ [2].

По відношенню до інших узагальнених координат судна система залишається розімкнутою, це є її істотним недоліком. Використання АБЛ дає можливість застосування сталевих тросів, які більш довговічні й надійні в роботі, ніж синтетичні та рослинні.

На рисунку 1.5 представлена структурна схема буксирної лебідки.

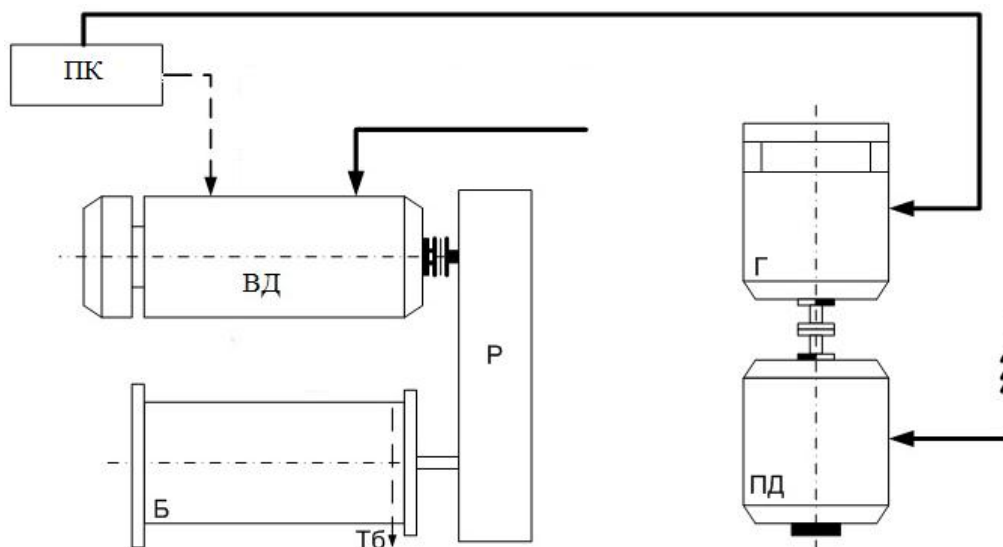


Рисунок 1.5 – Структурна схема буксирної лебідки

При буксирних операціях ручне керування проводиться з пульта керування (ПК - командоапарата). Сигнал з ПК надходить на збудження генератора (Г) і двигуна (ВД), створює тягові характеристики лебідки, необхідні для роботи. При переході в автоматичний режим, рукоятка ПК ставиться в одне з початкових положень, залежно від необхідного натягу. Стан рівноваги досягається самостійно, тобто якщо зусилля невелике, то двигун працює в руховому режимі, вибираючи слабину. Якщо натяг збільшився, то частота обертання ВД (згідно характеристики) падає до повної зупинки та стоянки під струмом. Якщо початковий натяг великий, то відбувається стравлення канату до вирівнювання протидіючих моментів, а ВД працює в режимі противовключення. Для цієї групи АБЛ характерно, що частота двигуна є змінною і визначається наведеним моментом на двигуні.

Автоматичні буксирні лебідки, використовувані на сучасних морських і річкових судах, за принципом вимірювання натягу (зусилля) на швартовому канаті можна розділити на дві групи:

- а) системи з датчиком натягу;
- б) системи без датчиків натягу.

АБЛ без датчика натягу. У АБЛ без датчика натягу оцінка зусилля виконується самим електродвигуном. Це є найбільш простою дією у функціональній системі. В автоматичному режимі електродвигун стоїть під

струмом, врівноважуючи момент, створюваний натягом троса на барабані АБЛ. Зазвичай в таких системах використовуються системи Г - Д, у яких створюються сприятливі крутоспадні механічні характеристики.

Такі системи зараз встановлені на теплоходах серій «Новгород» і ряді інших, виробляються фірмами "Тригге" і "АСЕА".

Динамометричні системи в АБЛ з датчиком натягу. Система АБЛ з датчиком натягу – це система, в якій двигун має преривну роботу за певною програмою, що задається датчиком натягу, які відрізняються за принципом вимірювання тягового зусилля.

У АБЛ використовуються наступні динамометричні системи:

- а) динамометрична система з планетарною передачею;
- б) динамометрична система з безпосереднім пружним зв'язком барабана з робочим валом.

Динамометрична система з планетарною передачею – це система, в якій центральним елементом є планетарна передача в силовому ланцюзі редуктора між двигуном і вантажним барабаном. Сонячне колесо системи передачі пов'язане з виконавчим двигуном. Водило, разом із закріпленими на ньому сателітами, передає обертання на барабан. Коли двигун загальмований, зусилля на барабані через водило та сателіти передається на валочну шестерню. Її зміщення викликає розтягування пружини динамометра. У статичному (постійному) поєднанні пружина врівноважує силу T_b , яка прикладена до водила. Вона еквівалентна натягненню буксирного канату. Натяг пружини фіксується показчиком і через шатун передається на датчик тягової сили, який містить контактні елементи керування магнітної станцією. Уставка натягу контролюється маховичком. Відхилення дійсного зусилля від заданого викликає додаткове переміщення штоку датчика натягу, комутацію його керуючих елементів і включення ВД в напрямку, залежному від знака відхилення натягу.

Фактично вимірювач проводить оцінку моменту на водилі, який за величиною буде набагато менше дійсного моменту на вантажному барабані, що виникає через натяг буксирного канату.

Також відмінність можна визначити втратами в передавальному механізмі, що знаходиться між барабаном і планетарним редуктором.

У динамометричній системі з безпосереднім пружним зв'язком барабана з робочим валом, барабан має вільну посадку щодо вантажного валу. Між ними зв'язок здійснюється за допомогою пружинних розтяжок із зірочкою, які вбудовані всередину барабана. Коли двигун і вантажний вал знаходяться в загальмованому стані, під дією зусилля на канаті відбувається поворот барабана щодо осі свого вала на кут, величина якого еквівалентна натягу. Кут фіксується датчиком тягового зусилля. Наявність у системі диференціала дозволяє проводити вимірювання зусилля навіть під час роботи двигуна.

З урахуванням параметрів ланцюгових зірочок проміжна механічна передача дозволяє вибирати необхідну величину повороту вала датчика натягу.

В системі такого типу мають місце найменші втрати моменту на відстані від барабана до вимірювача та висока точність оцінки натягу. Такі системи з безпосереднім пружним зв'язком встановлені на суднах серій "Омськ" і розроблені західнонімецької фірмою "Камінатель Шерфе".

Для вимірювання моменту на вантажному валу лебідки широко використовуються магнітопружні датчики. Вони працюють на застосуванні магнітної провідності феромагнітних матеріалів, яка відбувається під дією механічних напруг.

Для систем з датчиком натягу характерно дискретне регулювання швидкості електроприводу, при певному досягненні зусилля станеться спрямоване включення двигуна.

Двигун, маючи жорстку механічну характеристику, працює з постійною частотою обертання. При збільшенні натягу датчик, спрацьовуючи, включає підвищену (знижену) швидкість обертання.

1.2.3 Автоматична буксирна лебідка з електричним приводом ЛЕ-38

Як об'єкт дослідження в роботі вибрана лебідка буксирна автоматична з електричним приводом ЛЕ-38 (рисунок 1.6) [5].

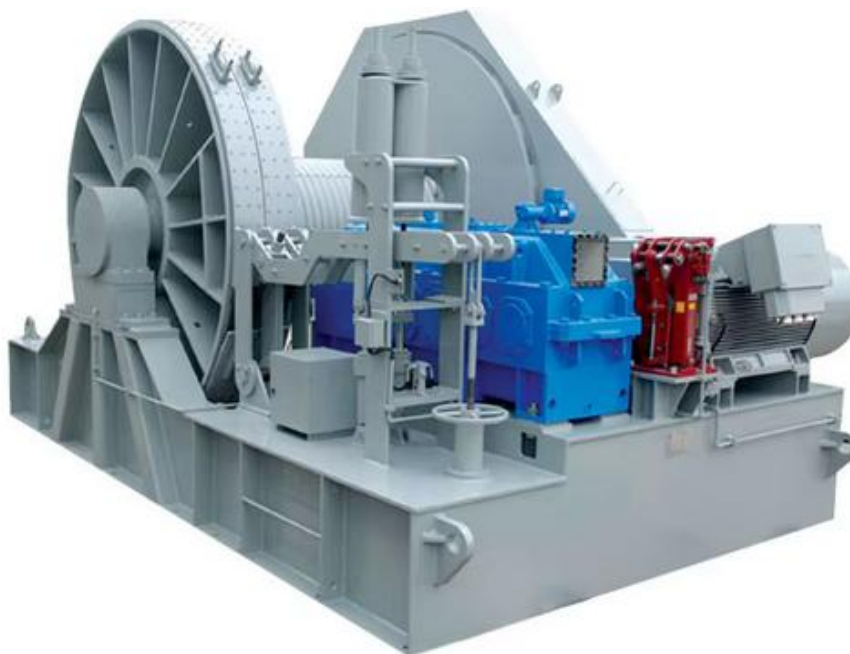


Рисунок 1.6 – Лебідка буксирна автоматична з електроприводом ЛЕ-38

Технічні характеристики буксирної лебідки наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики лебідки ЛЕ-38

Параметр	Значення
Тягове зусилля, тс	
номінальне	18
на стопорі	85
Швидкість вибирання-травлення, м/хв	17
Канатоємність барабана, м	500
Діаметр каната, мм	46,5
Габарити, мм	довжина – 3350, ширина – 2945, висота – 1700
Маса лебідки, кг	15500
Електроустаткування	змінного струму 380 В, 50 Гц
Споживана потужність, кВт	70

Дана лебідка призначена для: виконання буксирних і допоміжних робіт; обертання буксирного тросу від розриву; підтримки постійної відстані між судном і баржою. Можлива робота як в автоматичному, так і ручному режимах. Лебідка встановлюється на опорну раму, яка кріпиться до суднового фундаменту. Вона надійно працює та зберігає свої технічні характеристики при наступних кліматичних умовах: температурі навколишнього повітря від мінус 40 до плюс 45 °С; - відносній вологості повітря до 100%.

1.3 Існуюча схема керування електропривода буксирної лебідки

Режим роботи електропривода вантажних лебідок повторно-короткочасним і характеризується зміною навантаження приводного двигуна в широких межах внаслідок зміни прийомів та загальної організації вантажних робіт.

Найбільш поширений привод вантажних лебідок з електричним реверсуванням двигуна та регулюванням його швидкості при підйомі та спуску вантажу з електричним та механічним гальмуванням.

Суднові лебідки та підйомні механізми кранів мають такі основні типи електроприводів:

- з двигунами постійного струму змішаного збудження за контролерних або релейно-контакторних схем управління;
- за системою генератор-двигун або з тиристорним керуванням;
- з асинхронними короткозамкнутими багатошвидкісними двигунами.

Розглянемо схему електропривода досліджуваної у даній роботі лебідки, виконану з використанням багатошвидкісного асинхронного електродвигуна і контролерів керування (рисунок 1.7) [2].

Статор асинхронного двигуна має дві групи обмоток С2 і С3, комбінації яких забезпечують зміну механічної характеристики електродвигуна з синхронними швидкостями обертання. Обмотки підключаються через загальний автоматичний вимикач АВ та контакти силового кулачкового контролера 1-ХП згідно з таблицею 1.2. У цьому ланцюгу включені реле теплового захисту від навантаження

РТ1, РТ2 і РГ. При перевищенні струму величини установки реле воно спрацьовує та розриває ланцюг контакторів вантажного захисту КГ1 та КГ2.

Ланцюги керування живляться через трансформатор Тр і випрямляч ВП. В аварійних ситуаціях, що не допускають зупинки електродвигуна, незважаючи на його перевантаження, тепловий захист шунтується кнопкою К. При відключенні автомата АВ, ротор двигуна загальмований дисковим гальмом Т, яке розгальмовується електромагнітом ТМ при включенні АВ.

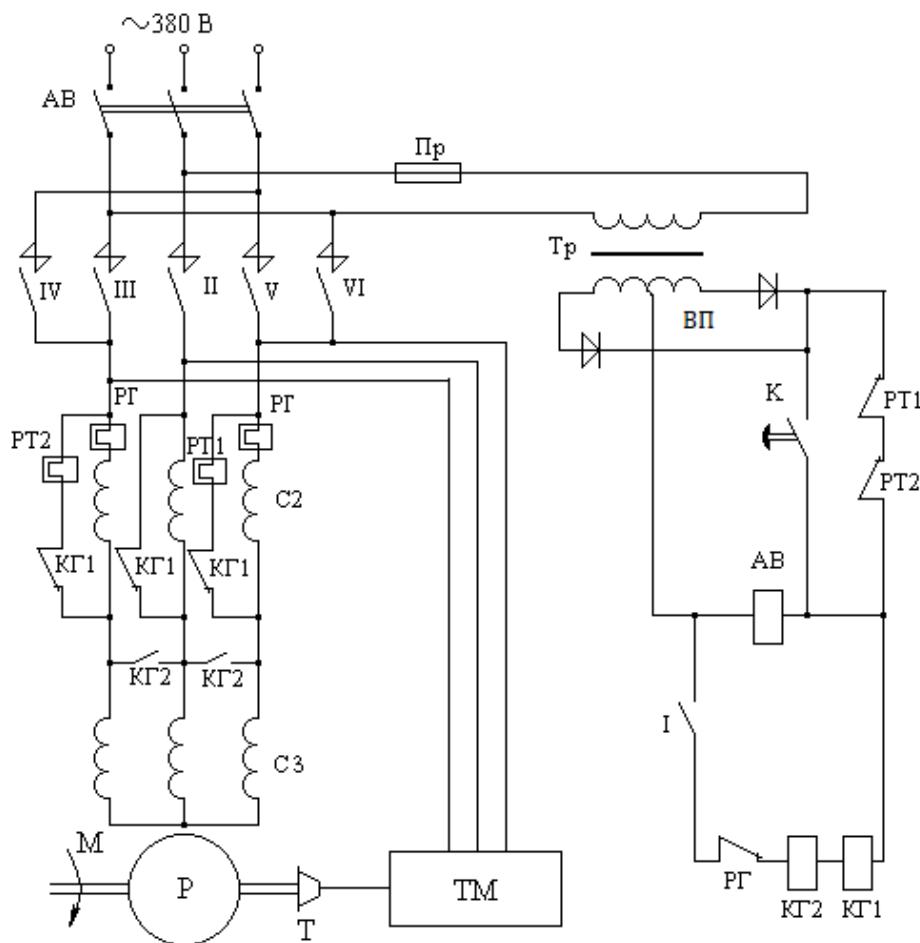


Рисунок 1.7 - Принципова електрична схема лебідки

Робота електропривода у напрямі "вибирати" та "травити" визначається лише напрямком обертання магнітного поля. Реверс здійснюється контактами ІV та VІ. При положенні рукоятки в секторі "вибирати" замкнуті контакти ІІ, ІІІ, V (таблиця 1.2), а в положенні "травити" - ІІ, ІV, VІ.

Таблиця 1.2 – Підключення обмоток асинхронного двигуна

Контакты	Травити		0	Вибирати	
	1	2		1	2
1		X			X
2	X	X		X	X
3				X	X
4	X	X			
5				X	X
6	X	X			

При пуску двигуна котушка ТМ розгальмовує дискове гальмо. У першому положенні рукоятки силового кулачкового контролера одержує живлення обмотка С3, тому що контакти вантажного контактора КГ1 шунтують фази обмотки С2.

Двигун розганяється за характеристикою І до частоти першого ступеня. Рукоятка переводиться на друге положення, розмикаються контакти КГ1 і замикаються контакти КГ2 і І, шунтуючи обмотку 33 і включаючи зірочкою обмотку 32.

Двигун переходить на характеристику 2 і розганяється до частоти другого ступеня. Але якщо навантаження на двигун зростає вище за допустиме, тоді спрацьовує вантажне реле РГ і розмикає ланцюг котушок КГ1 і КГ2. Схема забезпечить перемикання двигуна на характеристику 1 тому що обмотка С2 буде вимкнена, а С3 включена.

1.4 Висновки до розділу 1:

- наведений огляд літератури та розробок за темою;
- розглянуті призначення, типи та робота буксирних лебідок;
- наведена класифікація та принцип дії автоматичних буксирних лебідок;
- наведений опис та технічні характеристики автоматичної буксирної лебідки з електричним приводом ЛЕ-38.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Сучасний етап науково-технічного розвитку суспільства висуває нові, набагато вищі вимоги до творчого потенціалу фахівців, що передбачає володіння новими науковими методами, вміння орієнтуватися в потоці наукової інформації, знаходити найраціональніші конструкторські, технологічні й організаційні рішення.

Перед спеціалістами різних напрямів підготовки все частіше постають завдання, які вимагають, окрім фахової кваліфікації, знання методів опрацювання результатів спостережень, планування експериментів, математичних методів моделювання та оптимізації процесів дослідження [4].

Мета наукового дослідження – це всебічне та достовірне вивчення об'єкта, процесу або явища, їх структури, зв'язків та співвідношення на основі наукових принципів і методів пізнання, а також отримання і впровадження корисних результатів.

Об'єкт дослідження – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію і обирається для вивчення.

Предмет дослідження – явище або процес, що знаходиться в межах об'єкта та розглядається як елемент, частина об'єкта дослідження.

Початком наукового дослідження є докладний аналіз сучасного стану проблеми, яка розглядається. Він здійснюється на основі інформаційного пошуку з широким використанням ЕОМ. При цьому використовуються різні джерела інформації, які знаходяться в Україні, а також всесвітня комп'ютерна мережа Internet.

Метод (від грецького *methodos* – шлях до чого-небудь) – в найбільш загальному випадку означає засіб досягнення мети, спосіб дослідження явища, який визначає планомірний підхід до їх наукового пізнання та встановлення істини.

Науковий метод – це спосіб пізнання явищ дійсності в їх взаємозв’язку та розвитку, спосіб досягнення поставленої мети і завдань дослідження.

Методи досліджень бувають: загальні, що діють у всіх галузях науки і на всіх етапах дослідження; загальнонаукові, тобто придатні для всіх наук; часткові – для певних наук; спеціальні – для однієї специфічної науки. Такий поділ методів завжди умовний, оскільки в міру розвитку пізнання науковий метод може переходити з однієї категорії в іншу.

Формою здійснення розвитку науки є наукове дослідження.

Класифікація наукових досліджень сприяє розкриттю взаємозв’язків між ними на основі принципів та відображенню наукових досліджень у вигляді логічного розташування (таблиця 2.1) [4].

Таблиця 2.1 - Класифікація наукових досліджень за різними ознаками

За методами дослідження		
Теоретичні дослідження	Теоретико-експериментальні дослідження	Експериментальні дослідження
За сферою використання результатів		
Фундаментальні дослідження	Прикладні дослідження	
За джерелами фінансування		
Держбюджетні дослідження	Госпдоговірні дослідження	Дослідження, які не фінансуються
За тривалістю проведення		
Довгострокові дослідження	Короткострокові дослідження	Експрес-дослідження
За стадіями проведення		
Пошукові дослідження	Науково-дослідні розробки	Науково-виробничі розробки
За місцем проведення		
Промислові дослідження	Лабораторні дослідження	Дослідження в природних умовах
За складом якостей об'єкта		
Комплексні дослідження	Диференційовані дослідження	

В таблиці 2.2 наведені дані про методи досліджень теоретичного рівня.

Таблиця 2.2 - Методи теоретичних досліджень

Методи	Характеристика
Абстрагування	Уявне відвернення від неістотних, другорядних ознак явища або об'єкта, зв'язків і відношень між ними та виокремлення кількох сторін, які цікавлять дослідника
Аналіз	Метод пізнання, який дає змогу гіпотетично поділити явище або об'єкт на окремі складові частини та досліджувати їх відокремлено одна від одної
Синтез	Метод, який є результатом об'єднання окремих складових частин явища або об'єкта в єдине ціле, досліджуючи загальні ознаки і властивості
Моделювання	Опосередкований метод дослідження явища або об'єкта, який ґрунтується на застосуванні моделі як засобу дослідження, коли вивчити явище або об'єкт не можливо
Аксіоматичний метод	Метод побудови наукової теорії, за яким деякі твердження приймаються без доведень, а всі інші знання виводяться з них відповідно до певних логічних правил
Ідеалізація	Гіпотетичне конструювання явища або об'єкта, яких немає в дійсності або які за суб'єктивних причин практично нездійсненні
Формалізація	Метод вивчення явища або об'єкта через відображення їх структури в знаковій формі за допомогою штучних мов, наприклад, математики, фізики, хімії тощо
Дедукція	Умовивід, у якому висновок про той чи той елемент множини робиться на підставі знання про загальні властивості усієї множини
Індукція	Умовивід від часткового до загального, від окремих фактів до узагальнень, коли на основі знань про частини предметів певного класу робиться висновок про клас загалом

Теоретичне дослідження завершується розробленням теорії, що не обов'язково пов'язана із побудовою її математичного апарату [5,12].

Теоретичні дослідження передбачають такі етапи виконання:

- аналіз фізичної суті процесів, явищ;
- формулювання гіпотези дослідження;
- побудова (розробка) фізичної моделі;
- проведення математичного дослідження;
- аналіз теоретичних рішень;
- формулювання висновків.

Якщо не вдається виконати математичне дослідження, то формулюється математичне дослідження в словесній формі з використанням графіків, таблиць та ін. У технічних науках необхідно прагнути до застосування математичної формалізації висунутих гіпотез і висновків.

На емпіричному рівні використовується широкий спектр методів наукового дослідження (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Методи емпіричних досліджень

Методи	Характеристика
Вимірювання	Визначення кількісних характеристик явища або об'єкта за допомогою спеціальних технічних пристроїв та одиниць виміру
Порівняння	Процес зіставлення явища або об'єкта з метою з'ясування подібності та відмінності між ними, а також знаходження загального, що може бути властивим двом чи кільком явищам або об'єктам дослідження
Спостереження	Системне, цілеспрямоване, спеціально організоване візуальне сприймання явища або об'єкта, опосередковане раціональним знанням
Експеримент	Метод вивчення явища або об'єкта, коли дослідник активно та цілеспрямовано впливає на нього для створення штучних чи використання природних умов, необхідних для виявлення його ознак і властивостей

Експеримент проводиться в межах емпіричного дослідження і застосовується для перевірки правильності гіпотези, встановлення причинних зв'язків між явищем або об'єктом. Натомість на теоретичному рівні використовується пізнавальна діяльність, в якій структура реального експерименту відтворюється в уяві, тобто розумовий експеримент.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Структурно-логічні схеми – це спосіб наочного представлення інформації в структурованому, систематизованому вигляді [4].

Схематичне представлення того чи того процесу пов'язано із необхідністю визначення його елементів, виду зв'язків між ними, установлення послідовності розгортання динамічних зв'язків між елементами процесу, з'ясування прямих та зворотних зв'язків між компонентами досліджуваного процесу.

Весь процес наукового дослідження, у т. ч. й підготовку магістерської роботи як самостійної науково-дослідницької кваліфікаційної роботи, можна поділити на етапи:

1. Обґрунтування наукової проблеми, формулювання теми дослідження.
2. Постановка мети і конкретних завдань дослідження.
3. Визначення об'єкта і предмета дослідження.
4. Накопичення необхідної наукової інформації, пошук літературних та інших джерел відповідно до теми і завдань дослідження, їх вивчення й аналіз.
5. Відпрацювання гіпотез і теоретичних передумов дослідження.
6. Вибір системи методів проведення дослідження.
7. Обробка, аналіз, опис процесу та результатів дослідження, що проводилося згідно з розробленою програмою і методикою.
8. Обговорення результатів дослідження.
9. Формулювання висновків та оцінка одержаних результатів, їх публічний захист.

Алгоритм магістерського дослідження представлений структурно-логічною схемою у вигляді табличної інформаційної моделі (таблиця 2.4).

Схема складена на підставі головних завдань магістерського дослідження.

Таблиця 2.4 – Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Розробка та дослідження електромеханічної системи керування електропривода буксирної лебідки	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини. Теоретичні передумови дослідження	Призначення, типи та робота буксирних пристроїв
	Системи авторегулювання автоматичних буксирних лебідок
	Опис об'єкту дослідження
	Дані про електричне обладнання об'єкту дослідження
Опис процесу дослідження	Аналіз існуючих типів приводів, вибір частотного перетворювача для керування електродвигуном суднової буксирної лебідки, опис перетворювача
	Моделювання перехідних процесів на базі функціональної та структурної схем системи керування електропривода.
Узагальнення результатів моделювання	Математичне моделювання динамічних властивостей системи керування електропривода буксирної лебідки
	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
Узагальнення науково-теоретичних результатів	Формулювання висновків
	Узагальнення науково-теоретичних результатів
Розробка заходів з охорони праці	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Данна схема наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Вона показує процедуру (алгоритм) дослідження і установлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи.

Спочатку вибирається тема дослідження та обґрунтовується її актуальність, далі виконується вибір літератури за темою. Підготовка теоретичної частини роботи містить функціональний опис робототехнічної системи. Потім на основі

аналізу двомірної математичної моделі руху руки робота-маніпулятора проводиться складання і дослідження математичної моделі.

Моделювання процесів у електроприводі насоса проводиться шляхом синтезу нелінійних систем САК за допомогою побудови алгоритмів керування з умови здійснення бажаних траєкторій руху.

Згідно зі структурно-логічною схемою за допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

На підставі виконаних розрахунків та отриманих характеристик проводиться узагальнення отриманих теоретичних результатів.

На заключному етапі роботи проводиться розробка заходів охорони праці, впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес.

2.3 Вибір методу розрахунку поставленої задачі

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Модель (від лат. *modulus* – міра) – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубленням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів. Він базується на трьох теоремах аналізу подібності.

Практично необмежені можливості з виявлення ефективного функціонування складної електромеханічної системи має метод математичного моделювання. Він ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

Імітаційне моделювання використовується частіше за всього при дослідженні складних електромеханічних систем та представляють собою процес формування моделі реальної системи та проведення над нею численних експериментів з метою виявлення шляхів її створення, вдосконалення та (або) ефективного використання.

Практично необмеженими можливостями за виявленням ефективно функціональної складної електромеханічної системи має метод математичного моделювання. Цей метод заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Статистичні моделі у порівнянні з аналітичними більш точні, але громіздкі та погано доступні для огляду.

Послідовність робіт при моделюванні виробничої системи.

- дослідження модельованої системи і постановка задачі - вивчення літературних джерел, проведення досліджень, тощо. На цьому етапі необхідно виявити зовнішні і внутрішні зв'язки системи, визначити які ресурси використовуються, з допомогою яких технологічних процесів ці ресурси перетворюються у продукцію;

- формалізація задачі - на цьому етапі визначають, які параметри системи, яку ми моделюємо необхідно відобразити в моделі;

- розробка математичної моделі задачі і її запис в структурній формі.

Розробити математичну модель задачі це означає побудувати спеціальну таблицю чи схему, у якій усі економічні, технологічні та інші виробничі умови і вимоги виражені у вигляді нерівностей і рівнянь і об'єднані цільовою функцією. Математична модель економіко-математичної задачі може бути подана у структурній, загальній символній чи числовій формі. Послідовність розробки моделі може бути різною, але зручніше спочатку скласти систему змінних величин, записати систему обмежень, а потім цільову функцію. В моделі виділяють змінні величини, константи і коефіцієнти. Змінні в моделі відображають невідомі величини;

- аналіз кількісних залежностей параметрів задачі;
- збір інформації і її обробка;
- побудова числової моделі;
- вибір математичного методу вирішення задачі;
- вирішення задачі на ЕОМ;
- аналіз результатів вирішення і коригування моделі;
- вирішення задачі на ЕОМ по скоригованій моделі.

В цій роботі проводиться дослідження впливу параметрів буксирної лебідки на динамічні характеристики системи керування електропривода. Тому для моделювання перехідних процесів використовуються комп'ютерна модель.

Комп'ютерна модель (або чисельна) [7] – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи

комп'ютерної математики, наприклад, [Maple](#), [Mathematica](#), [Mathcad](#), [MATLAB](#), [VisSim](#) та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету [MATLAB](#) [7].

Середовище MATLAB є мовою програмування високого рівня для застосування в технічних розрахунках, доповнене розмаїттям прикладних програм-розширень.

Програмне середовище MATLAB є вмістилищем сучасних досягнень і комп'ютерної реалізації числових методів, створених за останні десятиліття, та всього досвіду становлення математики протягом усієї історії розвитку цивілізації. Його застосовують провідні університети та наукові центри світу.

Широкий популярності програмного середовища MATLAB сприяє її матрична орієнтація й потужне основне розширення Simulink. Вони надають користувачу зручні й прості засоби досліджень, зокрема візуального об'єктно-орієнтованого програмування для математичного й імітаційного моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем, а також і автоматичних систем керування (АСК). Програмне середовище MATLAB надається користувачу як комплекс MATLAB + Simulink + Toolbox + Blockset, де розділи підсистем Toolbox і Blockset: є програмними засобами розширення для середовищ MATLAB і Simulink відповідно.

Метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

2.4 Висновки до розділу 2:

- вибраний та обґрунтований метод наукового дослідження.
- побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження.
- обґрунтовано вибір методу розрахунку задачі і показано, що метод математичного моделювання дозволяє із залученням обчислювальної техніки досліджувати перехідні режими у системі керування електропривода суднової буксирної лебідки.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ТИПУ ДВИГУНА ТА КОМПЛЕКТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Класифікація суднових електроприводів

Електроприводи суден класифікуються (різняються) по декільком ознакам.

По **області застосування** розрізняють 2 види електроприводів [12,13]:

- берегові;
- суднові.

По **роду струму** розрізняють 3 види електроприводів:

- постійного струму;
- змінного струму;
- подвійного роду струму.

В останніх виконавчий електродвигун постійного струму одержує живлення від суднової мережі змінного струму через керований випрямляч. Такі установки застосовуються, в основному, на електроходах – транспортних суднах, криголамах, буксирах і т.п.

Перехід суднових електроприводів на змінний струм завершився на початку 60-х років 20 сторіччя. Це стало можливим після початку виробництва електричних машин, призначених спеціально для роботи на суднах. Такі електричні машини називають машинами **морського виконання**, на відміну від машин **нормального виконання**, призначених для роботи на березі.

По **способу передачі енергії** від електродвигуна до механізму розрізняють 3 види електроприводів:

- груповий;
- одиночний;
- багатодвигунний.

Груповим називають електропривод, у якому один електродвигун приводить у рух кілька виконавчих механізмів. Приклад: токарський верстат, у якому електродвигун обертає патрон із заготовкою й одночасно переміщає супорт верстата з бабкою, у якій затиснутий різець. Супорт при цьому рухається

поступально (уліво-вправо) уздовж станини верстата. На суднах групові приводи застосовуються вкрай рідко.

Одиночним називають електропривод, у якому електродвигун приводить у рух тільки один виконавчий механізм. Приклад: електропривод насоса або вентилятора, у якому крильчатка насаджена безпосередньо на вал електродвигуна.

Багатодвигунним називають електропривод, у якому кілька електродвигунів спільно працюють на загальний вал. Приклад: привод платформи механізму повороту потужного екскаватора, у якому електродвигуни включаються в різних комбінаціях, завдяки чому забезпечується рівномірний розподіл статичних і динамічних навантажень при повороті платформи.

Багатодвигунні електроприводи використовуються на спеціалізованих суднах, наприклад, плавучих бурових вишках та ін.

По ступеню автоматизації розрізняють 3 види електроприводів:

- неавтоматизовані;
- автоматизовані;
- автоматичні.

У **неавтоматизованому** електроприводі людина бере участь на всіх стадіях керування електроприводом. Приклад: електропривод вентилятора, керований за допомогою поста керування із двома кнопками "Пуск" і "Стоп". Обидві дії – пуск і зупинка, виконує людина шляхом натискання відповідної кнопки.

В **автоматизованому** електроприводі функції керування розділені між людиною й керуючим пристроєм. Звичайно людина задає програму роботи електропривода, решта ж виконує керуючий пристрій.

Приклад: електропривод вантажної лебідки з 3-ма швидкостями. Нехай оператор (лебідчик) різко перевів рукоятку командоконтролера з нульового положення відразу в 3-є в напрямку "Підйом". Двигун при цьому ввімкнеться не на 3-й швидкості, а на 1-й, що дозволить уникнути поломки редуктора, а далі розгін електродвигуна відбудеться поступово, із затримкою при переході з 1-ї швидкості на 2-у, а потім з 2-ї до 3-ї. Цю затримку забезпечують два реле часу, що входять до складу керуючого пристрою.

В **автоматичному** електроприводі роль людини зводиться лише до спостереження за роботою електропривода.

Приклад: автоматичний кермовий. На початковому етапі участь людини полягає в подачі живлення на кермовий електропривод (електромеханік) і у виведенні судна на необхідний курс, наприклад, за допомогою штурвала (кермовий матрос або вахтовий помічник капітана). Після цього на тумбі керування кермовим електроприводом (місток) перемикач видів керування встановлюють у положення "Автомат". Залежно від умов плавання, такий режим може тривати від декількох годин до декількох десятків діб.

По можливості зміни швидкості розрізняють 2 види електроприводів:

- нерегульован, що не передбачають зміну швидкості;
- регульовані, мають 2 і більш швидкостей.

Приклад нерегульованого електропривода: електропривод вентилятора, керування яким полягає тільки в пуску й зупинці, а швидкість не регулюється.

Приклади регульованого електропривода:

- електропривод вантажної лебідки з 3-ма швидкостями ;
- електропривод якірно-швартовного пристрою з 6-ма швидкостями.

По можливості зміни напрямку обертання розрізняють 2 види електроприводів:

- нереверсивний;
- реверсивний.

Приклад нереверсивного електропривода: електропривод вентилятора, керування яким полягає тільки в пуску й зупинці, а напрямок обертання не змінюється.

Приклади реверсивного електропривода:

- електропривод вантажної лебідки з 2-ма режимами: "підйом" і "спуск";
- електропривод якірно-швартовного пристрою з 2-ма режимами: "травити" і "вибирати".

По призначенню розрізняють 5 видів суднових електроприводів:

- кермові;

- якірно-швартовні (брашпиль і шпиль, автоматичні швартовні лебідки - АШЛ);

- вантажопідйомні (вантажні лебідки й крани, ліфти);
- електроприводи суднових нагнітачів (насоси, вентилятори, компресори);
- механізмів спеціального призначення.

До останньої групи відносять електроприводи:

- пристроїв, що підрулюють;
- систем кренування й диференту;
- заспокоювачів хитами;
- систем відкренування суден;
- автоматичні буксирні лебідки.

Кермові пристрої призначені для керування напрямком руху судна.

Якірно-швартовні пристрої призначені для переміщення якірного каната з якір-ланцюгом або (і) швартовного каната.

Автоматичні швартовні лебідки призначені для підтримки постійного натягу швартовного каната при стоянці судна в причалі або переміщення швартовного каната при швартовних операціях. При стоянці в причалі АШЛ працює в автоматичному режимі, при швартовних операціях – у режимі ручного керування.

Вантажопідйомні механізми призначені для переміщення вантажів при навантаженні-вивантаженні судна.

Суднові нагнітачі призначені:

- вентилятори - для переміщення повітря;
- насоси – для переміщення робочої рідини (води, палива, масла й т.п.);
- компресори – для стиску газу, наприклад, повітря.

Пристрої, що підрулюють, призначені для підвищення маневреності суден. З їхньою допомогою судно може переміщатися лагом (бортом) і навіть робити повний оберт на місці. Такі пристрої застосовують на звичайних транспортних судах, а також на судах-поромах.

Системи кренування й диференту призначені для звільнення корпусу судна, затиснутого в льодах і додання корпусу судна необхідного осідання. Їх застосовують на криголамних судах.

Системи заспокоювачів хитавиці призначені для зменшення амплітуди крену судна. Їх застосовують, в основному, на пасажирських судах і морських поромках, в умовах, коли хитавиця (без застосування системи) досягає 35...40°.

Системи відкренування судна призначені для вирівнювання крену вантажної палуби. Їх застосовують на судах з горизонтальним способом навантаження. Застосування цих систем підвищує безпеку вантажних операцій, у ході яких нерівномірне завантаження техніки на різні борти може викликати неприпустимий крен судна.

Автоматичні буксирні лебідки призначені для автоматичної підтримки постійного зусилля в буксирному тросі. Їх застосовують на спеціалізованих судах-буксирах, криголамах.

При збільшенні натягу троса лебідка автоматично включається й потравлює трос доти, поки зусилля в ньому не поменшається до заданого. При зменшенні натягу троса лебідка так само автоматично включається й набиває його до заданого зусилля.

3.2 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна

Залежно від призначення й комплектації електроприводів судових механізмів до їхнього складу входять електродвигуни, статичні або обертові перетворювачі, апаратура керування й захисту, гальма, інше встаткування [2,12,13].

Основними умовами для вибору типу привода для розглянутої автоматичної буксирної лебідки є:

- широкий діапазон регулювання кутової швидкості двигуна;
- високі динамічні показники;
- високі показники надійності (довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність);

- ступінь захисту двигуна IP44.

При виборі привода необхідно також враховувати, що привод працює в різних режимах, а також можливість довгострокової роботи привода на знижених обертах.

На морському флоті 86% електроприводів вантажопідйомних пристроїв працюють на змінному струмі. Особливо надійний асинхронний короткозамкнений електродвигун змінного струму.

У регульованих електроприводах використовуються асинхронні електродвигуни з короткозамкненим чи фазним ротором, синхронні та вентильні електродвигуни.

При експлуатації існуючої схеми системи керування головного привода лебідки виникають наступні недоліки:

- у даній схемі не забезпечується плавне регулювання швидкості обертів барабану при зміні навантаження;

- в існуючій схемі привода лебідки використовується електродвигун із фазним ротором, що зменшує його термін служби, збільшує витрати на обслуговування, вони більш громіздкі та ціна їх набагато вище двигунів із короткозамкнутим ротором.

Для того щоб покращити роботу лебідки та зменшити витрати на її обслуговування, потрібно розрахувати потужність встановлюваного асинхронного двигуна та підібрати його за основними умовами.

Основні технічні дані буксирної автоматичної лебідки ЛЕ-38 для розрахунків вибираємо з таблиці 1.1 (Розділ 1).

Номінальне тягове зусилля $F = 180$ кН.

Швидкість вибирання-травлення $v_{\phi} = 17$ м/хв (0,283 м/с).

Номінальна потужність електродвигуна буксирної лебідки P , кВт,

$$P = \frac{F \cdot v_{\phi}}{\eta \cdot k_{cm}},$$

де F - номінальне тягове зусилля у буксирному тросі, кН;

v_{ϕ} - номінальна швидкість вибирання буксирного тросу, м/с;

η – коефіцієнт корисної дії (приймаємо $\eta = 0,75$);

k_{cm} – поправочний коефіцієнт для двигунів, що мають запас по часу стоянки. [2].

При $t = 30$ с (час стоянки під струмом в номінальному режимі) – $k_{cm} = 1,07$.

$$P = \frac{180 \cdot 0,283}{0,75 \cdot 1,07} = 63,5 \text{ кВт.}$$

Вибираємо за каталогом двошвидкісний електродвигун типу МАП 621–4/12, технічні дані якого приведені в таблиці 3.1 (при включенні обмотки з числом полюсів $2p = 4$) [18].

ЕД серії МАП призначені для приводу суднових палубних механізмів, що працюють в повторно-короткочасному та короткочасному режимах на морських судах необмеженого району плавання. Вид кліматичного виконання та категорія розміщення ОМ1. Група умов експлуатації в частині впливу механічних факторів зовнішнього середовища – МЗ1.

Таблиця 3.1 – Технічні дані електродвигуна типу МАП 621-4/12

Найменування параметрів	Значення
Номінальна потужність P_H , кВт	65,0
Номінальна напруга U_H , В	380
Номінальний струм I_H , А	119,32
Номінальна частота обертання ротора n_H , об/хв.	1410
Число пар полюсів $Z_p = 2p$	4
Частота живлення мережі f_c , Гц	50
Коефіцієнт корисної дії η_H , %	93,0
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H$, %	89

Електродвигун має дві фіксовані швидкості, відповідні включенню двох незалежних обмоток. При включенні обмотки з числом полюсів $2p = 12$ реалізується потужність, необхідна для вибирання троса з номінальним тяговим зусиллям. При включенні обмотки з числом полюсів $2p = 4$ забезпечується вибирання і травлення ненавантаженого троса з великою швидкістю.

3.3 Аналіз систем керування двигунами автоматичних буксирних лебідок

3.3.1 Існуючі системи керування автоматичних буксирних лебідок

В даний час автоматичні буксирні лебідки комплектуються електроприводами змінного струму на базі трьохшвидкісного асинхронного електродвигуна. Найпоширенішим типом електропривода є система з асинхронним короткозамкненим двигуном, керованим силовим кулачковим контролером або магнітним контролером релейно-контакторного типу [2,15]. Силова схема такого типу електропривода наведена на рисунку 3.1, механічні характеристики на рисунку 3.2.

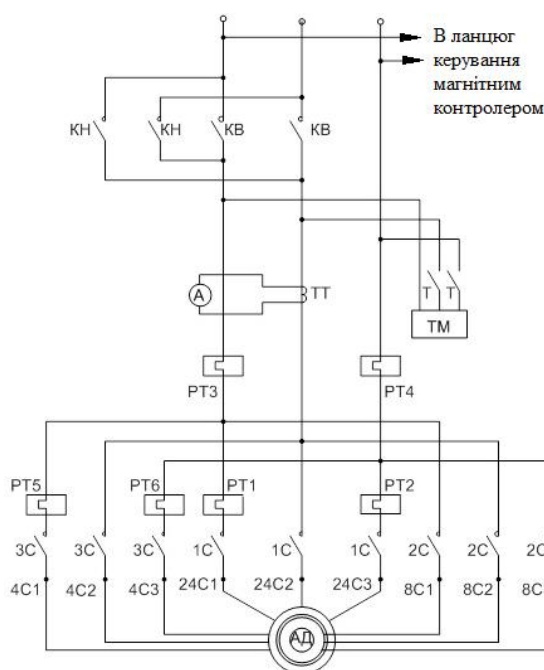


Рисунок 3.1 – Силовая часть релейно-контакторного электропривода АБЛ

Керування електроприводом проводиться за допомогою командоконтролера з трьома робочими положеннями у двох напрямках обертання.

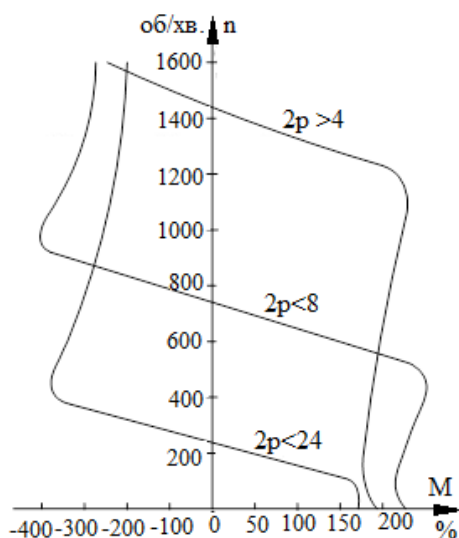


Рисунок 3.2 – Механічні характеристики релейно-контакторного електропривода АБЛ

Включення будь-якої з 3-х обмоток електродвигуна здійснюється переміщенням командоконтролера з нульового положення у відповідне робоче положення. Автоматичні швартовні лебідки до останнього часу забезпечуються релейно-контакторною системою керування на основі використання трьохшвидкісного електродвигуна з $2p = 4/8/24$.

Обмотка $2p = 4$ використовується для вибирання канату в холосту, а обмотка $2p = 8$ – для вибирання канату з номінальним натягом. Обмотка $2p = 24$ служить для вибирання канату з малою швидкістю при ручному керуванні, а також для всіх операцій автоматичного режиму.

Відзначаючи достоїнства таких електроприводів, які полягають у простоті і відносно низькій вартості, слід тим не менш констатувати, що при нинішньому розвитку великотоннажного флоту та відповідному збільшенні потужності автоматичних буксирних лебідок, вони вже не задовольняють збільшеним вимогам по ресурсу, надійності та іншим показникам. Слабкою ланкою в них є комутаційна апаратура – силові кулачкові контролери та контактори, які мають відносно невисоку електричну зносостійкість. Так, для кулачкових контролерів електрична зносостійкість становить 100-200 тис. циклів.

З точки зору підвищення надійності, ресурсу, безпеки роботи автоматичної буксирної лебідки більш справедливим виявляється застосування комутаційних

апаратів на базі керованих вентилів (тиристорів). У порівнянні з контактними апаратами тиристорні комутатори мають наступні переваги:

- практично необмежений ресурс за кількістю циклів ВО;
- висока швидкодія;
- великий коефіцієнт зусилля по потужності, обумовлений тим, що для включення тиристорів досить короткого малопотужного імпульсу;
- легкість введення автоматизації;
- висока надійність роботи при спрощенні обслуговування; великі можливості керування пуском, гальмуванням і іншими перехідними режимами електропривода.

До недоліків тиристорних комутаторів слід віднести:

- значно менша в порівнянні з контактними перевантажувальна здатність по струму;
- обмежена кількість комутованих ланцюгів;
- великі втрати, що виділяються в тиристорах при протіканні змінного струму;
- декілька більші, ніж у електромагнітних контакторів, габарити, маса і вартість.

Найповніше виявляються переваги тиристорних комутаторів (відносно надійності, ресурсу, терміну служби та ін.) в системах електроприводів з багатошвидкісними короткозамкненими двигунами, в яких здійснюється заміна всіх силових контактних комутаційних апаратів безконтактними.

Застосування безконтактних контролерів в цих системах дозволяє крім характеристик, властивих системам релейно-контакторного типу, реалізувати й нові. Так, представляється можливим без істотного ускладнення схеми електропривода отримати режим динамічного гальмування, а також режим противключення.

У суднових електроприводах все більш широке застосування знаходять контролери з сумісним застосуванням як контактної, так і безконтактної апаратури. Таке поєднання апаратів дозволяє одержати більш прості системи, що наближаються за своєю побудовою до звичайних релейно-контакторних структур,

але відрізняються від них набагато більшим рівнем електричної зносостійкості комутаційних апаратів.

В даний час розроблено декілька схемних рішень електропривода автоматичної буксирної лебідки з безструмовою комутацією. Побудова таких систем для електроприводів з трьохшвидкісним короткозамкненим двигунами можлива на основі двох рішень:

- шунтування головних контактів контактора ланцюжками складеними з зустрічно-паралельно включеними тиристорами;
- включення послідовно з головними контактами ланцюжків із зустрічно-паралельно включеними тиристорами.

В обох випадках комутацію струму в ланцюзі двигуна можна здійснювати тиристорами, а всі перемикання без струму – контактними елементами контакторів або інших комутаційних, наприклад, кулачкових контролерів. Тим самим електрична зносостійкість контактних апаратів, що використовуються в електроприводі, наближається до рівня їхньої механічної зносостійкості.

На основі застосування розглянутих виконань контактів схема електропривода автоматичної буксирної лебідки може бути виконана або повністю на контакторах з безструмовою комутацією, або з використанням їх тільки в найбільш навантажених ланцюгах. У першому випадку забезпечується безструмова комутація практично у всіх контактних елементах головного ланцюга, що дозволяє максимально використовувати можливості контакторів по ресурсу роботи. Однак реалізація цього варіанту вимагає істотного збільшення габаритів магнітного контролера, його маси та вартості. Тому більш виправданим слід вважати застосування другого варіанту, який при порівняно високих показниках по зносостійкості має значно кращі характеристики по габаритах, масі і вартості магнітних контролерів.

Використання систем з безструмовою і безконтактною комутацією вирішує тільки завдання забезпечення надійної роботи апаратури керування. Характеристики ж електроприводу визначаються методами регулювання і не залежать від систем комутації. Механічні характеристики електроприводів з безструмовою і безконтактною комутацією збігаються з механічними

характеристиками електропривода релейно-контакторного типу. У ряді випадків вони вже не задовольняють збільшеним вимогам, що пред'являються до автоматичних буксирних лебідок.

Для системи з безконтактною комутацією перспективним слід визнати використання тиристорних комутаторів не тільки в якості переривників струму, але і як регулятора напруги, що підводиться до двигуна при пусках і гальмуваннях, з тим, щоб отримати необхідний для механізму закон зміни моменту. Однак це пов'язано з ускладненням системи керування.

Найбільш сприятливим з точки зору підвищення регульовальних, динамічних показників електропривода автоматичної буксирної лебідки є застосування частотно-регульованого електропривода з асинхронними одношвидкісними і короткозамкненими машинами з полюсами, що перемикаються. При частотному керуванні втрати при пуску і гальмуванні електродвигуна менше аналогічних втрат не тільки при прямому включенні, але і при дво- або трьохступінчастому.

Заміна двошвидкісного двигуна одношвидкісним з частотним керуванням дозволяє зменшити його розміри на 1-2 габарити, вагу – на 40%, а маховий момент та сумарні втрати за цикл – у два рази навіть з урахуванням несинусоїдальності вихідної напруги перетворювача частоти.

На рисунку 3.3 наведена схема комбінованого електропривода автоматичної буксирної лебідки з двошвидкісним двигуном і паралельним включенням перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком (показана тільки силова частина).

Схема забезпечує частотний пуск і гальмування при роботі двигуна від перетворювача частоти, а також двоступінчастий розгін і гальмування в зоні електромашинного регулювання.

Загальний діапазон регулювання швидкостей з типовим співвідношенням пар полюсів машини $2p = 4/6$ становить 1:15, а в зоні частотного регулювання діапазон зміни частоти обертання двигуна від 150 до 600 об/хв. Кількість фіксованих механічних характеристик – по п'ять у кожному напрямку. Перетворювач частоти пов'язаний з мережею за допомогою понижувального трансформатора Тр. Керування каналами регулювання частоти і напруги здійснюється за допомогою реле РСВ, РСН і РС2, РС3.

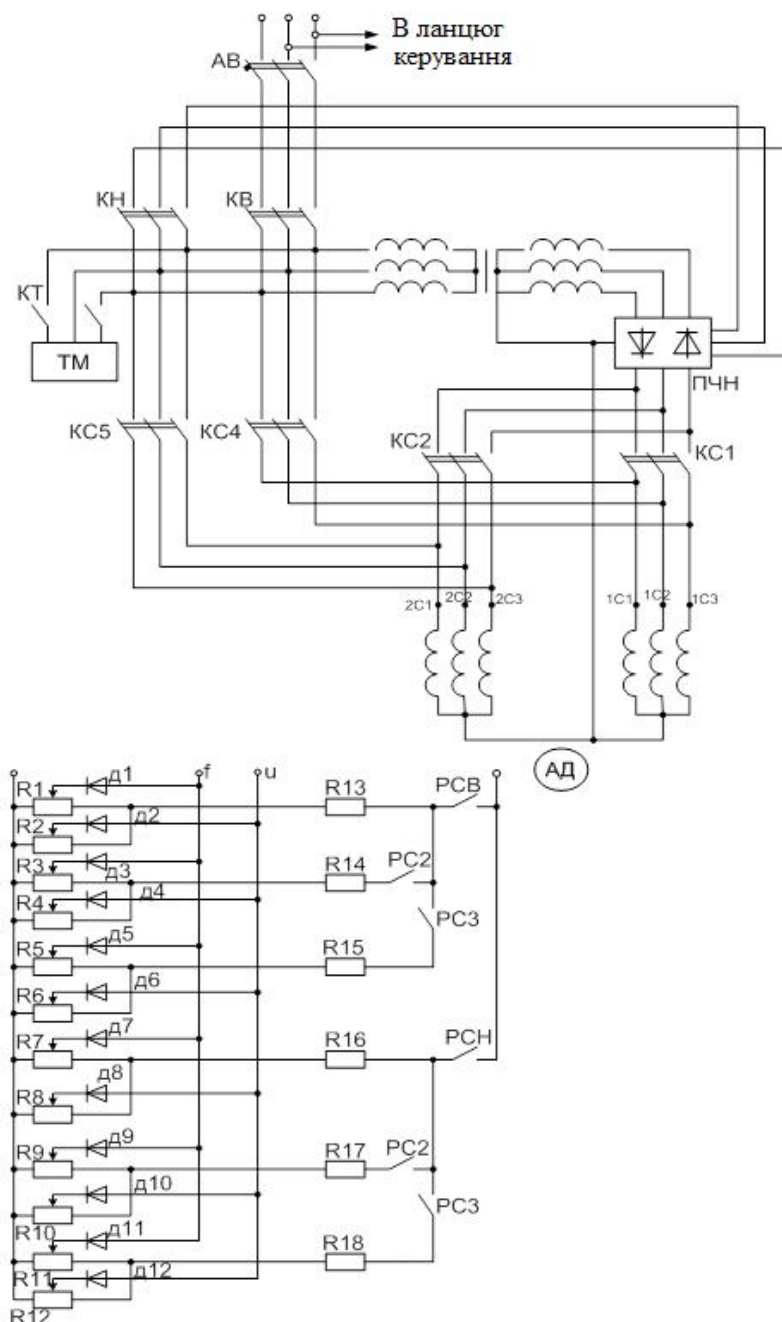


Рисунок 3.3 – Схема комбінованого електропривода АБЛ з паралельним включенням перетворювача частоти

Зазначені реле перемикають ланцюга резисторів R1-R18, зібрані по потенціометричним схемам, причому ланцюга з діодів Д1-Д12 утворюють логічну схему АБО, при якій включення подальшого ланцюга виключає попередній. Механічні характеристики цього електропривода наведені на рисунку 3.4.

Недоліком попередньої схеми є недостатня її надійність, відносна складність системи керування, великі маса і габарити всієї апаратури керування.

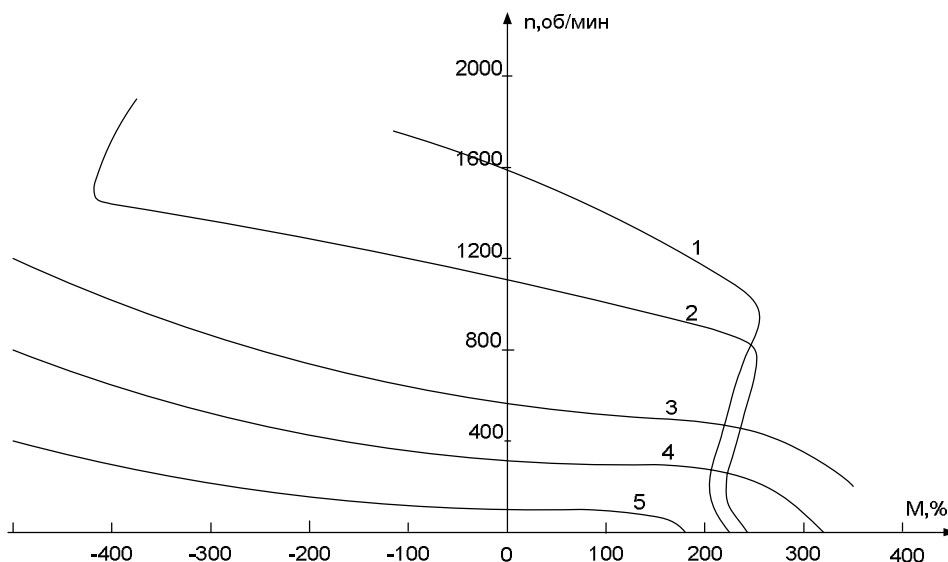


Рисунок 3.4 – Механічні характеристики електропривода АБЛ з паралельним включенням перетворювача частоти

3.3.2 Аналіз систем керування двигунами перемінного струму

У загальному випадку можна виділити два основні завдання, розв'язувані регульованим електроприводом: керування моментом і швидкістю обертання двигуна.

Необхідність регулювання моменту диктується пропонованими до електропривода технічними й технологічними вимогами. Для нормального функціонування привода необхідно обмежувати момент і струм двигуна припустимими значеннями в перехідних процесах пуску, гальмування й прикладення навантаження. Для механізмів, що зазнають при роботі значні перевантаження аж до стопоріння робочого органа (наприклад, приводи млинів), виникає необхідність безперервного регулювання моменту двигуна з метою обмеження динамічних ударних навантажень. У багатьох випадках потрібно також точне дозування зусилля на робочому органі (приводи металообробних верстатів, намотувальні машини та ін.).

Технологічні режими багатьох виробничих механізмів на різних етапах роботи вимагають руху робочого органа з різною швидкістю, що забезпечується або механічним шляхом, або шляхом електричного регулювання швидкості електропривода. При цьому вимоги до діапазону й точності регулювання

швидкості можуть змінюватися в найширших межах залежно від області застосування електропривода [2,16].

Методи керування [15].

Для вирішення задач регулювання швидкості й моменту в сучасному електроприводі застосовують два основні методи частотного керування:

- скалярне керування;
- векторне керування.

Асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є на сьогоднішній день найпоширенішим. Він застосовується в складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів і інших механізмів, для яких важливо підтримувати або швидкість обертання валу двигуна (при цьому використовується датчик швидкості), або технологічний параметр (наприклад, тиск у трубопроводі, при цьому використовується відповідний датчик).

Основний принцип скалярного керування — зміна частоти й амплітуди живлячої напруги за законом $U/f^n = const$, де $n > 1$. Конкретний вид залежності визначається вимогами, пропонованими до приводу навантаженням. Звичайно за незалежний вплив приймається частота, а значення напруги при даній частоті визначає вид механічної характеристики, значення пускового й критичного моментів. Скалярне керування забезпечує сталість перевантажувальної здатності привода незалежно від частоти напруги, однак має місце зниження моменту, що розвивається двигуном, при низьких частотах (*при* $f < 0,1 \cdot f_H$). Максимальний діапазон регулювання швидкості обертання ротора при незмінному моменті опору для приводів зі скалярним керуванням складає 1:10.

Метод скалярного керування відносно простий у реалізації, але має два істотних недоліки. По-перше, при відсутності датчика швидкості на валу двигуна неможливо регулювати швидкість обертання валу, тому що вона залежить від навантаження. Наявність датчика швидкості вирішує цю проблему, однак залишається другий істотний недолік — не можна регулювати момент на валу двигуна. З одного боку, і цю проблему можна розв'язати установкою датчика моменту, однак такі датчики мають дуже високу вартість, що найчастіше перевищує вартість усього приводу. Але навіть при наявності датчика керування

моментом виходить дуже інерційним. Більше того, при скалярному керуванні не можна регулювати одночасно й момент і швидкість, тому доводиться вибирати ту величину, яка є найбільш важливою для даного технологічного процесу.

Для усунення недоліків, властивих скалярному керуванню, фірмою SIEMENS ще в 1971 році був запропонований метод векторного керування. Перші варіанти приводів з векторним керуванням вимагали використання двигунів із вбудованими датчиками потоку. Це суттєво обмежувало застосування таких приводів.

У сучасних електроприводах у систему керування закладається математична модель двигуна, яка дозволяє розраховувати момент на валу й швидкість обертання вала. При цьому необхідними є тільки датчики струму фаз статора двигуна. Завдяки спеціальній структурі системи керування забезпечується незалежне й практично безінерційне регулювання двох основних параметрів — моменту на валу й швидкості обертання.

На сьогоднішній день сформувалося два основні класи систем векторного керування — бездатчикові системи (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи зі зворотним зв'язком по швидкості. Застосування того або іншого методу векторного керування визначається областю застосування електропривода. При невеликих діапазонах зміни швидкості (не більш 1:100) і вимогах до точності її підтримки не більш $\pm 0,5\%$ застосовують бездатчикове векторне керування. Якщо ж швидкість обертання валу змінюється в широких межах (до 1:10000 і більш), є вимоги до високої точності підтримки швидкості обертання (до $\pm 0,02\%$ при частотах обертання менш 1 Гц) або є необхідність позиціонування валу, а також при необхідності регулювання моменту на валу двигуна на дуже низьких частотах обертання, застосовують методи векторного керування зі зворотним зв'язком по швидкості.

При використанні векторного керування досягаються наступні переваги:

- висока точність регулювання швидкості навіть при відсутності датчика швидкості;
- плавне, без ривків, обертання двигуна в області малих частот;

- можливість забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості (при наявності датчика швидкості);
- швидка реакція на зміну навантаження: при різких перегонах навантаження практично не відбувається стрибків швидкості;
- забезпечення такого режиму роботи двигуна, при якому знижуються втрати на нагрівання й намагнічування, а отже, підвищується ККД двигуна.

Поряд з очевидними перевагами методу векторного керування властиві й деякі недоліки, такі, як велика обчислювальна складність і необхідність знання параметрів двигуна. Крім того, при векторному керуванні коливання швидкості на постійному навантаженні більше, чим при скалярному керуванні. Існують області, у яких можливе використання тільки скалярного керування, наприклад у груповому приводі, де від одного перетворювача живиться кілька двигунів.

Буксирна лебідка керована частотним перетворювачем має такі переваги: повне забезпечення межі та плавності регулювання швидкості, яка необхідна буксирній лебідці; можливість автоматичного керування пристроєм; надійність; легкість експлуатації.

Розглянувши способи керування асинхронним двигуном, вибираємо частотно-струмовий спосіб керування.

На основі проведеного аналізу існуючих типів керування двигунів перемінного струму для керування електродвигуном буксирної лебідки обраний комплектний електропривод Siemens Micromaster 440 з частотно-струмовим керуванням [10,16].

3.4 Основні технічні характеристики та робота комплектного електропривода Siemens MICROMASTER 440

Частотний перетворювач Siemens Micromaster 440 використовуються при переміщеннях вантажів, у текстильній промисловості, ліфтах, вантажопідійомних механізмах, машинобудуванні і всіх інших видах промисловості.

Перетворювач служить для плавного регулювання швидкості асинхронного електродвигуна, що приводить до плавного руху при травленні та вибиранні буксирного тросу.

Переваги переводу електропривода буксирної лебідки на частотне регулювання:

- значне спрощення електричної схеми керування;
- обмеження струму електродвигунів на рівні номінального в пускових і робочих режимах;
- повний захист електроустаткування з повідомленням про причину аварійної зупинки;
- широкий діапазон регулювання швидкості від нуля до номінальної й вище номінальної;
- плавний розгін і гальмування;
- підтримка частотним перетворювачем постійного моменту навантаження на електродвигуні шляхом зменшення амплітуди живлячої напруги залежно від її частоти. Економія може досягати 40%;
- застосування модуля рекуперації, що підключається до частотного перетворювача, який повертає енергію, виділену при гальмуванні назад у живильну мережу.

Перетворювачі частоти серії MICROMASTER 440 [10,16,19] застосовуються для зміни і регулювання швидкості обертання низьковольтних двигунів змінного струму з навантаженням постійного або вентиляторного типу, для процесів з високою динамікою та підвищеними вимогами до стартового моменту і перевантаження.

Для покращення електромагнітної сумісності, здатності технічного засобу (ТЗ) функціонувати із заданою якістю в заданому електромагнітному середовищі та не створювати недопустимих електромагнітних перешкод іншим ТЗ, до перетворювача може підключатися наступне додаткове обладнання:

- мережевий дросель;
- вхідний пасивний фільтр;
- вхідний фільтр пригнічення радіоперешкод та ін. (рисунк 3.5).

Вибір додаткового обладнання здійснюється відповідно до конкретних умов експлуатації перетворювачів частоти [16].

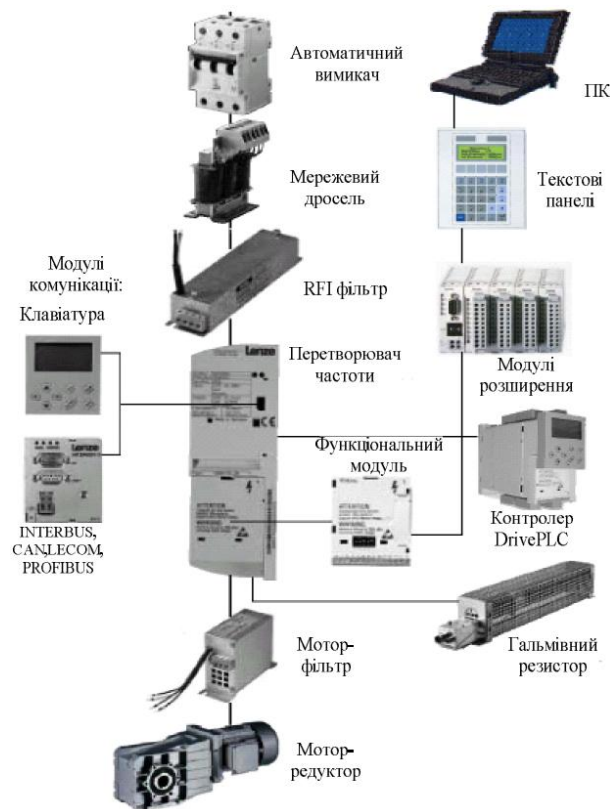


Рисунок 3.5 – Схема можливої комплектації ПЧ

На рисунку 3.6 представлена принципова електрична схема електропривода.

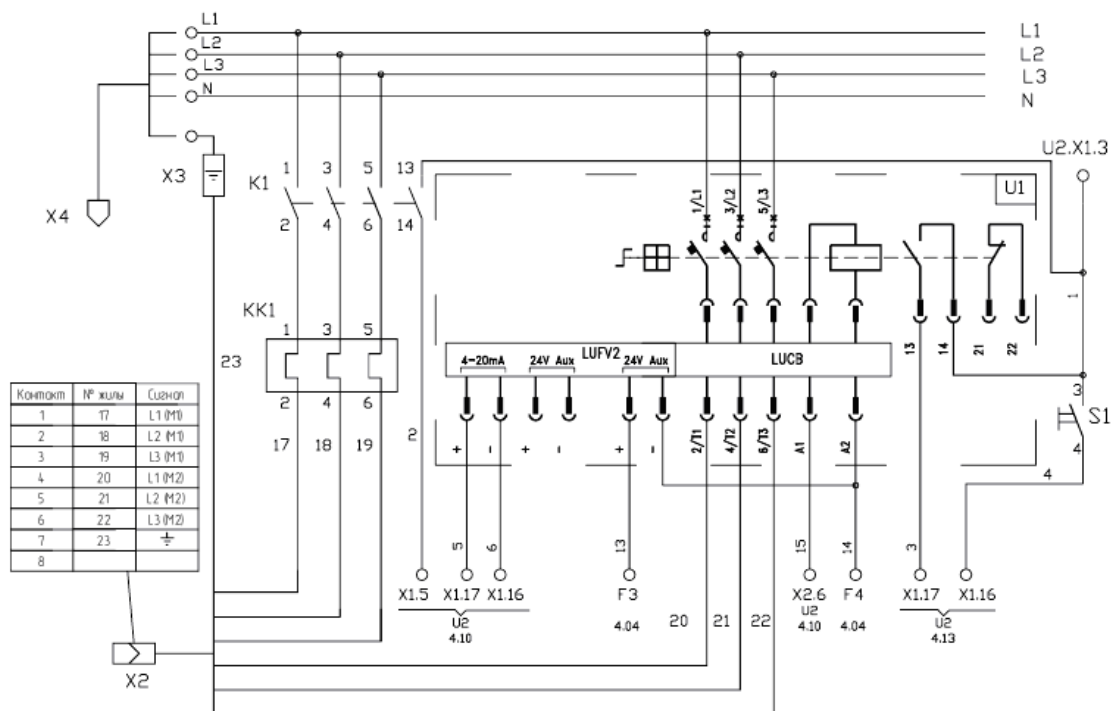


Рисунок 3.6 – Принципова електрична схема електропривода

Siemens Micromaster 440

Загальна схема частотного перетворювача Siemens Micromaster 440 наведена на рисунку 3.7.

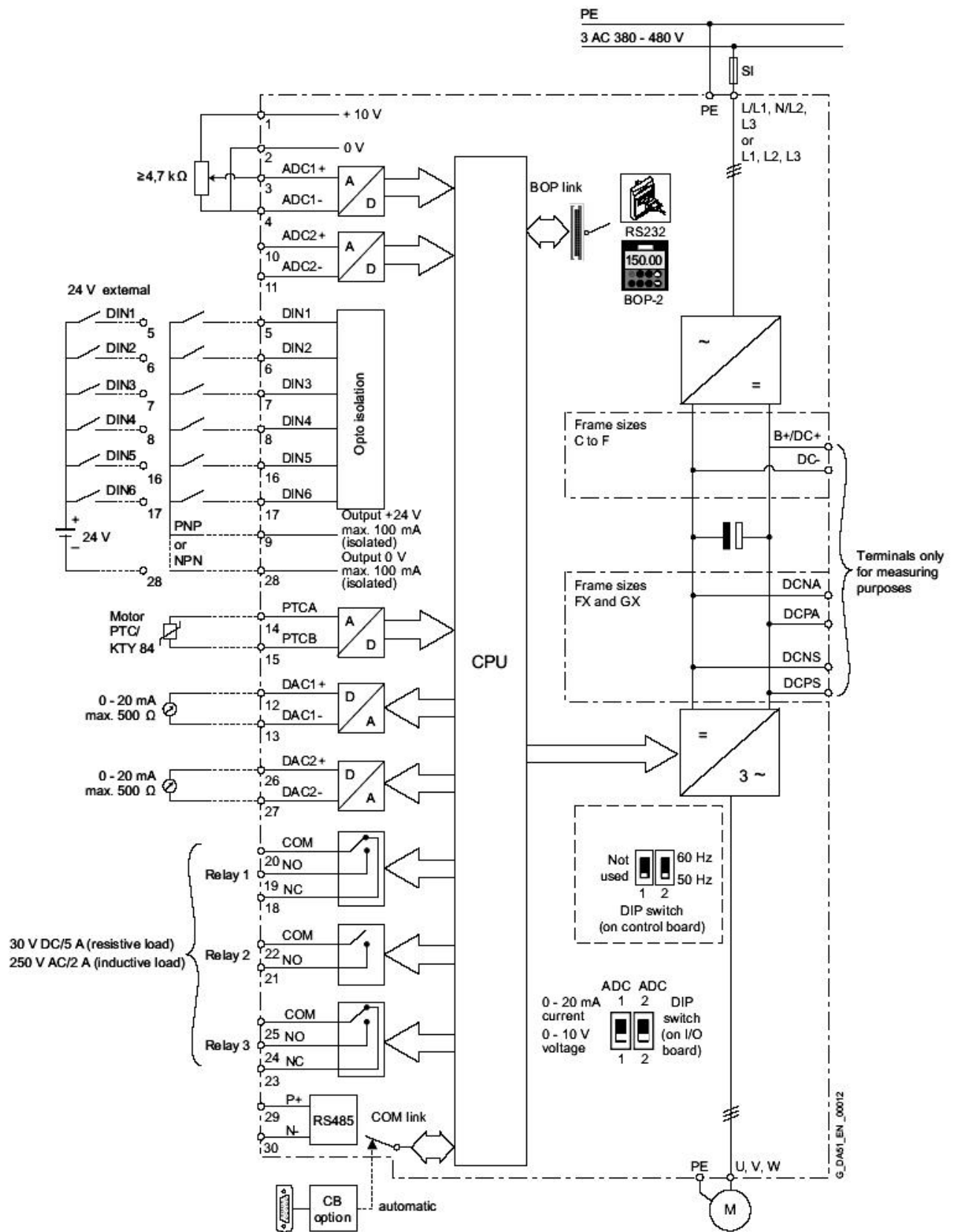


Рисунок 3.7 - Загальна схема частотного перетворювача Micromaster 440

Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440 наведені в таблиці 3.2 [19].

Таблиця 3.2 – Технічні дані перетворювача частоти MICROMASTER 440

Параметр	Характеристика
Напруга мережі та діапазон потужності	1 AC 200-240 В $\pm$ 10 % 0,12- 3 кВт 3 AC 200- 240 В $\pm$ 10% 0,12- 45 кВт, 5,5- 45 кВт 3 AC 380-480 В $\pm$ 10 % 0,37- 200 кВт 7,5-250 кВт 3 AC 500-600 В $\pm$ 10 % 0,75- 75 кВт 1,5-90 кВт
Частота мережі	47 Гц ... 63 Гц
Вихідна частота	для потужностей 7,5-90 кВт - 0-650 Гц для потужностей 110-250 кВт 0-267 Гц
коефіцієнт потужності	>0.95
ККД перетворювача	96%-97% в залежності від потужності перетворювача
Перевантажувальна здатність	0,12-75кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с (кожні 300 с.) 2 х розрахунковий вихідний струм на протягом 3 с, (кожні 300 с.) 90 - 200 кВт 1,36 х розрахунковий вихідний струм протягом 57 с (кожні 300 с.) 1,6 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с, (кожні 300 с.) -VT-(змінний момент) 5,5-90 кВт 1,4 х розрахунковий вихідний струм протягом 3 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 60 с, (кожні 300 с.) 110 - 250кВт 1,5 х розрахунковий вихідний струм протягом 1 с (кожні 300 с.) 1,1 х розрахунковий вихідний струм протягом 59 с, (кожні 300 с.)
Пусковий струм	Не вище розрахункового вхідного струму
Керування	Векторне керування з/без датчика швидкості; керування моментом; лінійна залежність U/f; квадратична U/f залежність; програмована залежність U/f; пряме керування потоком (FCC)
Частота імпульсів	Для потужностей 7,5 - 90 кВт 4 кГц (Заводська установка). 2 кГц ... 16 кГц (ступенями по 2 кГц) для потужностей 110-250 кВт 2 кГц (Заводська установка)

Продовження таблиці 3.2

Параметр	Характеристика
Число фіксованих частот	15, які параметруються
Частоти діафрагмирования	4, які параметруються
Дискретність завдання	0,01 Hz цифрове з панелі оператора 0,01 Hz з комп'ютера 10 біт аналогове представлення
Цифрові входи	6 які параметруються, потенційно розв'язані; перемикаються PNP / NPN
Аналоговий вхід	2 які параметруються; • 0 - 10 В, 0 - 20 мА і -10. +10 В Вхід 1 (AIN1) • 0 - 10 В і 0 - 20 мА Вхід 2 (AIN2) • можуть використовуватися як 7 і 8 цифрові входи
Релейний вихід	3, які параметруються, DC 30 В / 5 А (омічного навантаження), AC 250 В / 2 А (індуктивне навантаження)
Допустима довжина кабелю до двигуна без вихідного дроселя	Для потужності 7,5 - 90 кВт тах. 50 м (екран. кабель) тах. 100 м (неекранований кабель) для потужності 110-250 кВт тах. 100 м (екран. кабель) тах. 150 м (неекранований кабель)
Електромагнітна сумісність	Опціонально ЕМС фільтр по EN 55011, фільтр класу В. Перетворювач з вбудованим фільтром класу А (від 7,5 кВт до 90 кВт), для перетворювачів 110 кВт ... 250 кВт як окрема опція.
Гальмування	Гальмування постійним струмом, комбіноване гальмування
Функції захисту по:	- зниженій напрузі - перенапрузі - перевантаженню - включенню на землю - короткому замиканню - блокуванню двигуна - перегріву двигуна - перегріву перетворювача

3.5 Висновки по розділу 3:

- наведена класифікація суднових електроприводів;
- виконаний розрахунок потужності та вибраний електродвигун серії МАП, призначений для приводу суднових палубних механізмів, що працюють в повторно-короткочасному та короткочасному режимах на морських суднах ;
- проаналізовані існуючі системи керування двигунами автоматичних буксирних лебідок та системи керування двигунами перемінного струму;
- обґрунтований вибір комплектного електропривода Siemens MICROMASTER 440, наведені його основні технічні характеристики.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА БУКСИРНОЇ ЛЕБІДКИ

4.1 Розробка функціональної схеми системи керування

Синтез суднової системи автоматичного регулювання – це один з етапів її проектування, якому передують: дослідження об'єкта регулювання, складання вимог до якості регулювання, вибір основних елементів системи та визначення їх динамічних властивостей.

Принцип роботи електропривода. Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкненій системі регулювання його координат.

Узагальнена функціональна схема подібної системи (рисунок 4.1) крім асинхронного двигуна (АД) й керованого перетворювача частоти (ПЧ) містить регулятори Р і датчики Д перемінних електропривода. Керуючими впливами u_K на вході регуляторів можуть бути сигнали завдання будь-яких координат електропривода - швидкості, кута повороту ротора АД, струму статора, магнітного потоку й т.п. Збурюючими впливами на електропривод можуть бути моменти сил опору M_c на валу АД або коливання напруги живильної мережі U_c електропривода [17].

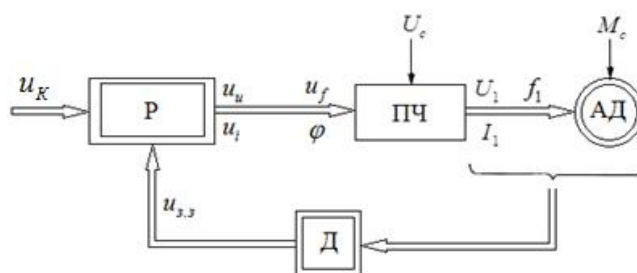


Рисунок 4.1 - Функціональна схема замкненої системи ПЧ-АД зі скалярним керуванням

Вхідними сигналами датчиків є перемінні АД, доступні для безпосереднього їхнього виміру (частота, напруга й струм статора, швидкість ротора, магнітний потік у повітряному зазорі АД) або обумовлені розрахунковим

шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕРС, потокозчеплення статора, ротора й т.п.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих впливів, сигналів зворотних зв'язків u_{Σ} і прийнятих алгоритмів регулювання, є сигналами керування частотою u_f , вихідною напругою u_u й струмом u_i перетворювача частоти.

При частотно-струмовому керуванні АД живиться від перетворювача частоти струму (ПЧС), працюючого в режимі джерела струму. Подібний перетворювач може бути реалізований на основі автономного інвертора струму (рисунок 4.2, а), до складу якого входять керований випрямляч, що забезпечує за рахунок негативного зворотного зв'язку по струму навантаження (датчик струму ДС і регулятор струму РС) разом з фільтруючим дроселем Др режим керованого джерела постійного струму, та інвертор струму (ІС), що виконує функцію формування необхідної частоти вихідного струму. Реалізація ПЧС можлива і на основі перетворювачів частоти з безпосереднім зв'язком некерованого перетворювача частоти (НПЧ) (рисунок 4.2, б), в яких для кожної з вентильних груп є внутрішній контур регулювання струму, а частота вихідного струму НПЧ задається генератором частоти ГЧ. Контур регулювання струму ПЧС, як правило, астатичний, і параметри його ПІ-регулятора визначають так само, як і для ПІ-регулятора струму в електроприводах постійного струму.

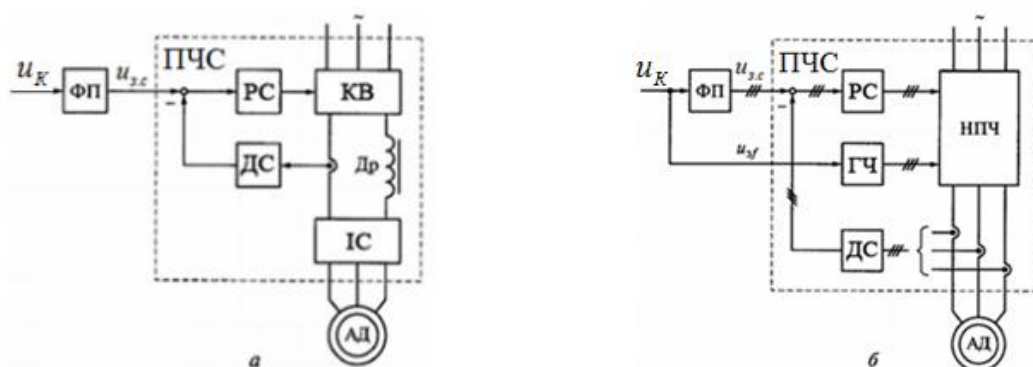


Рисунок 4.2 - Функціональні схеми систем ПЧ-АД при живленні від джерела струму на основі автономного інвертора (а) і перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком (б)

Відмінною особливістю ПЧС є можливість двостороннього обміну енергією між його живильною мережею і двигуном з нереверсивним УВ за рахунок зміни

напрямку проти-ЕРС інвертора і збереження напрямку в ньому випрямленого струму.

Керування двигуном проводиться за допомогою сигналів завдання вихідного струму $u_{з.с.}$ і частоти $u_{з.ф.}$ перетворювача ПЧС. Обидва сигнали, у свою чергу, залежать від загального сигналу керування u_K .

При живленні АД від джерела струму внаслідок розмагнічуючої дії струму ротора магнітний потік АД помітно змінюється при зміні абсолютного ковзання. Тому для стабілізації магнітного потоку АД при зміні його навантаження в канал завдання струму ПЧС вводиться функціональний перетворювач ФП, що визначає завдання струму статора I_1 , у функції абсолютного ковзання s_a . Залежність $I_1 = f(s_a)$ і пропорційна їй залежність $u_{з.с.} = \Phi(u_K)$ є нелінійними функціями (рисунок 4.3), які на робочих ділянках механічних характеристик АД відповідають умові $I_1^2 \cong s_a$. Криві цих залежностей симетричні щодо осі струму (завдання струму), що визначається симетрією механічних характеристик АД в двигунному і генераторному режимах його роботи. Часто при технічній реалізації ФП користуються лінійною апроксимацією залежності $I_1 = f(s_a)$ (штрихова лінія на рисунку 4.3). Тут значення $I_{1\max}$ і $u_{з.с.\max}$ визначають максимально допустимий струм статора і сигнал його завдання, а $u_{з.с.\min}$ – струм холостого ходу АД і сигнал його завдання.

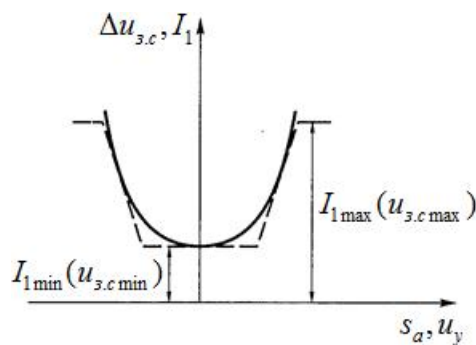


Рисунок 4.3 - Залежність струму статора від абсолютного ковзання АД

Відомі позитивні властивості АД при його живленні від ПЧС, такі як незалежність електромагнітного моменту АД від частоти і можливість при заданому струмі статора і абсолютному ковзанні, рівному критичному, забезпечити

більший момент, ніж при живленні від джерела напруги, можуть бути реалізовані в замкнутій системі, яка контролює абсолютне ковзання і струм двигуна в функції навантаження.

На рисунку 4.4 представлена функціональна схема системи частотно-струмового керування АД [17].

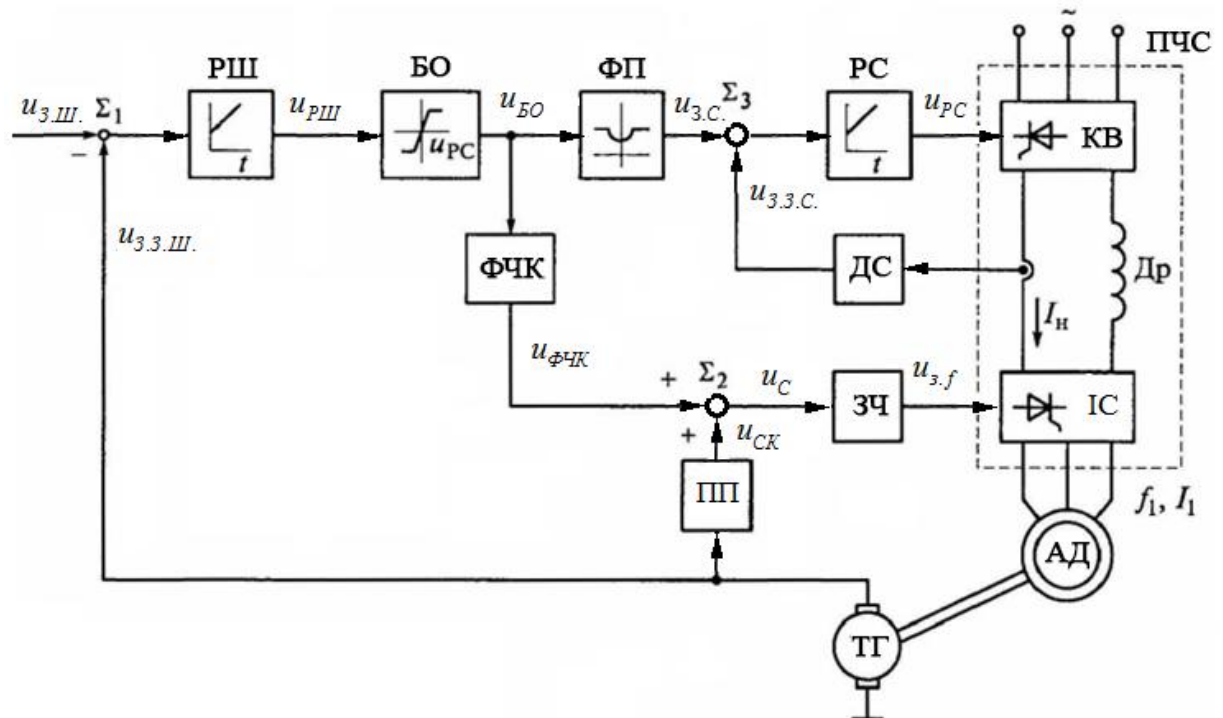


Рисунок 4.4 – Функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням

Джерело струму реалізовано на основі керуючого випрямляча КВ, струм навантаження I_n якого задається вихідною напругою u_{PC} регулятора струму РС, пропорційним різниці напруг на виході ФП і $u_{3.3.с.}$ датчика струму ДС. Стабілізація швидкості АД забезпечується за рахунок регулятора швидкості РШ, на вході якого порівнюються напруги завдання швидкості $u_{3.ш.}$ і зворотного зв'язку $u_{3.3.ш.}$ з вихода тахогенератора ТГ. Особливість схеми в тому, що тут автоматично формуються сигнали, пропорційні абсолютному ковзанню і завданню синхронної швидкості АД.

Сигнал, пропорційний s_a , формується на виході РШ, оскільки $u_{3.ш.}$ пропорційно завданням швидкості ω_{03} , ідеального холостого ходу АД, а $u_{3.3.ш.}$ – поточної швидкості ротора ω , тобто $u_{РШ} = (u_{3.ш.} - u_{3.3.ш.}) = (\omega_{03} - \omega) = s_a \cdot \omega_{0ном}$.

Якщо передатний коефіцієнт формувача частоти ковзання ФЧК вибрати таким чином, щоб з урахуванням $\omega_{0ном}$ його вихідний сигнал $u_{ФЧК}$ був пропорційний $(\omega_{0з} - \omega)$, то після сумовування цього сигналу з вихідним сигналом $u_{ПП}$ погоджувального пристрою ПП, пропорційний поточному значенню ω , на виході суматора Σ_2 пристрою завдання частоти ЗЧ інвертора струму ІС перетворювача ПЧС буде сформований сигнал

$$u_C = u_{ФЧК} + u_{ПП} \cong (\omega_{0з} - \omega) + \omega = \omega_{0з}.$$

В результаті на вихід ЗЧ буде сигнал завдання частоти вихідного струму ПЧС $u_{3.f} \cong u_{3.ш.} \cong \omega_{0з}$, що визначає завдання синхронної швидкості АД.

Оскільки електромагнітний момент двигуна пропорційний квадрату струму статорної обмотки ($M \cong I_1^2$), який, у свою чергу, пропорційний абсолютному ковзанню ($I_1^2 \cong s_a$), вихідний сигнал РШ пропорційний s_a і є сигналом завдання електромагнітного моменту АД. Тому вихідна напруга $u_{БО}$ блоку обмеження БО на виході РШ можна впливати і на обмеження максимального моменту АД.

Перед пуском двигуна ($u_{3.ш.} = 0$, $u_{РШ} = 0$) сигнал завдання частоти перетворювача $u_{3.f} = 0$ і за рахунок характеристики ФП ($u_{3.ш. \min} \neq 0$) в АД задається постійний струм, який забезпечує потік намагнічення і режим динамічного гальмування АД. Зі збільшенням $u_{3.ш.}$ зростає сигнал завдання частоти, струм статора стає змінним із заданою частотою і двигун починає обертання під дією максимального моменту, встановленого сигналом $u_{3.ш.}$. Збільшення швидкості буде відбуватися до тих пір, поки не зрівняються сигнали завдання і зворотного зв'язку по швидкості двигуна. Після цього вихідний сигнал РШ при відсутності статичного навантаження на валу АД знову встановиться рівним нулю, але за рахунок позитивного зворотного зв'язку по швидкості вже при $u_{3.f} \neq 0$. Потік холостого ходу АД буде при цьому створюватися змінним струмом $I_{1\min}$ (рисунок 4.3).

4.2 Математичний опис структурної схеми електропривода з частотно-струмовим керуванням

При розгляданні перехідних процесів досліджується ідеалізований асинхронний двигун, у якому магнітна рушійна сила (МРС) і індукція розподілені по окружності синусоїдально, втрати в сталі відсутні, ланцюг, що намагнічує, є лінійним. Диференційні рівняння ідеалізованого асинхронного двигуна у системі координат $x - y$, що обертається з синхронною швидкістю ω_o [6,17]:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 \cdot r_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j\omega_o\psi_1; \\ 0 &= I_2 \cdot r_2' + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_o - z_p\omega_2)\psi_2; \\ \psi_1 &= L_1 I_1 + L_0 I_2'; \\ \psi_2 &= L_2' I_2' + L_0 I_1, \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

де U_1, I_1, ψ_1 – вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;

I_2', ψ_2 – ті ж параметри для ротора, приведені до статора;

L_0 – повна результуюча взаємна індуктивність обмотки статора і ротора;

L_2', L_1' – повні результуючі індуктивності обмотки статора і ротора (приведені до статора), що складаються з індуктивності від головного потоку і індуктивностей від полів розсіювання;

r_1, r_2' – активні опори обмоток статора і ротора (приведені до статора);

ω_2 – кутова швидкість обертання ротора;

z_p – число пар полюсів двигуна.

Обертовий момент двигуна M ,

$$M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot I_m (\psi_1^* \cdot I_1) = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_m (\psi_2^* \cdot I_1). \quad (4.2)$$

Рівняння руху двигуна:

$$M - M_C = I \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.3)$$

При живленні від АІС, коли заданий струм статора двигуна, доцільно перейти до рівнянь, що містять U_1 , I_1 , ψ_2 .

З третього і четвертого рівнянь системи (4.1):

$$\psi_1 = \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_2,$$

де $\Delta^* = L_1 L_2' - L_0^2$; $I_2' = \frac{1}{L_2'} \cdot \psi_2 - \frac{L_0}{L_2'} \cdot I_1$.

Підставимо дані вирази в перші два рівняння системи (4.1) і одержимо:

$$U_{1x} = R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt} \quad (4.4)$$

$$0 = -\frac{R_2}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_2 \quad (4.5)$$

Спроекуємо вирази (4.5) на осі x і y , а також введемо в якості незалежної перемінної I_1 , що спрямована уздовж осі x , при цьому $I_{lx} = I_1$:

$$\left. \begin{aligned} U_{1x} &= R_1 I_{1x} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1y} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1x}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\ U_{1y} &= R_1 I_{1y} - \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_{1x} + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_{1y}}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\ 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_{1x} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\ 0 &= -\frac{R_2}{L_2'} \cdot L_0 I_{1y} + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}. \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1x} &= R_1 I_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot \frac{dI_1}{dt} - \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2x}}{dt}; \\
 U_{1y} &= \omega_0 \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} \cdot I_1 + \omega_0 \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{L_0}{L_2'} \cdot \frac{d\psi_{2y}}{dt}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1 + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x} + \frac{d\psi_{2x}}{dt} - (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2y}; \\
 0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y} + \frac{d\psi_{2y}}{dt} + (\omega_0 - z_p \omega_2) \cdot \psi_{2x}.
 \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Знайдемо момент двигуна з виразу (4.3):

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} I_m \cdot \psi_2^* I_1, \quad (4.8)$$

де $\psi_2^* = \psi_{2x} - j\psi_{2y}$;

$$I_1 = I_{1x} + jI_{1y}.$$

Підставимо значення ψ_2^* і I_1 у (4.8) і одержимо:

$$M = \frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} (\psi_{2x} I_{1y} - \psi_{2y} I_{1x}).$$

Так як при $I_{1x} = I_1$, $I_{1y} = 0$, то попередній вираз перетвориться в такий:

$$M = -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y} I_1. \quad (4.9)$$

Запишемо систему рівнянь (4.7) і рівняння (4.9) в операторній формі:

$$\left. \begin{aligned}
 U_{1x}(p) &= (R_1 + \frac{\Delta^*}{L_2'} p) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2x}(p); \\
 U_{1y}(p) &= \omega_0(p) \cdot \frac{\Delta^*}{L_2'} I_1(p) + \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \psi_{2x}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p \psi_{2y}(p);
 \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

$$\left. \begin{aligned}
0 &= -\frac{R_2'}{L_2'} \cdot L_0 I_1(p) + \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2x}(p) + p\psi_{2x}(p) - (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\
0 &= \frac{R_2'}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + p\psi_{2y}(p) + (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\
M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p).
\end{aligned} \right\} (4.11)$$

При живленні двигуна від АІС, нас буде цікавити тільки активна складова напруги $U_{1x}(p)$, тому при побудові структурної схеми асинхронного двигуна, друге рівняння системи (4.10) використовуватися не буде.

$$\left. \begin{aligned}
U_{1x}(p) &= R_1 \left(1 + \frac{\Delta^*}{L_2' R_1} p\right) \cdot I_1(p) - \omega_0(p) \cdot \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) + \frac{L_0}{L_2'} p\psi_{2x}(p); \\
\psi_{2x}(p) &= \frac{L_0}{\left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right)} \cdot I_1(p) + \left[-\frac{L_2'}{R_2} / \left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2y}(p); \\
\psi_{2y}(p) &= \left[-\frac{L_2'}{R_2} / \left(1 + \frac{L_2'}{R_2} p\right) \right] \cdot (\omega_0(p) - z_p \omega_2(p)) \cdot \psi_{2x}(p); \\
M &= -\frac{3}{2} z_p \frac{L_0}{L_2'} \cdot \psi_{2y}(p) I_1(p).
\end{aligned} \right\} (4.12)$$

На підставі системи рівнянь (4.12) і рівняння (4.3) складемо структурну схему асинхронного двигуна, що представлена на рисунку 4.5.

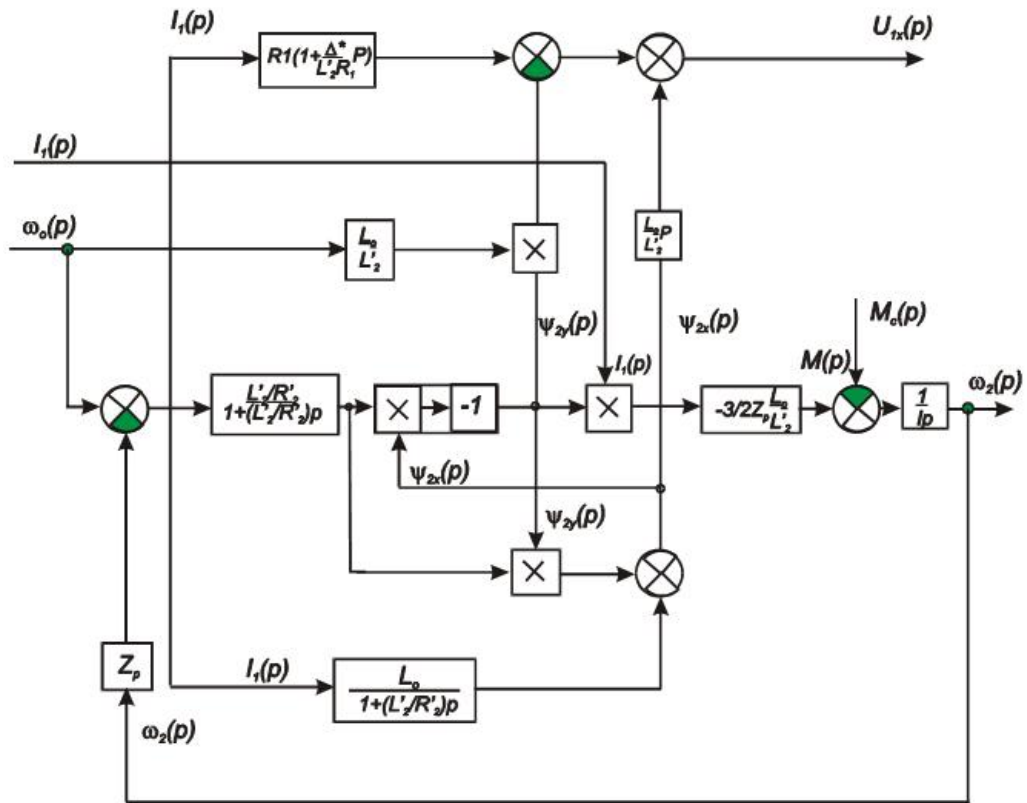


Рисунок 4.5 – Структурна схема асинхронного електродвигуна

Складену структурну схему асинхронного двигуна при керуванні кутовою частотою напруги статора й за умови сталості потокозчеплення статора зручніше побудувати, якщо представити координати двигуна у в.о..

Здійснимо перехід до умовних одиниць, прийнявши за базові значення координат їх значення у номінальному режимі: $M_{нфн}$; $\omega_{1н}$; $U_{1\alpha H}$; $\omega_{0н}$, $\omega_{0H} = \frac{\omega_{1H}}{p_i}$,

де ω_{0H} – синхронна кутова швидкість двигуна, c^{-1} .

Тоді

$$\left[\frac{\Delta \omega}{\omega_{0H}} \right] = \Delta \bar{\omega}; \quad \left[\frac{\Delta \omega_1}{\omega_{1H}} \right] = \Delta \bar{\omega}_1; \quad \left[\frac{\Delta M}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta \bar{M};$$

$$\left[\frac{\Delta M_o}{M_{п.ф.н}} \right] = \Delta \bar{M}_o; \quad \left[\frac{\Delta u_{1a}}{U_{1aH}} \right] = \Delta u_{1a}.$$

Передатна функція двигуна запишеться так

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{(T_E p + 1) - \frac{(\frac{S}{S_{kp}})^2}{1 + (\frac{S}{S_{kp}})^2} (T_E p + 2)}{(T_E p + 1)^2 + (\frac{S}{S_{kp}})^2}, \quad (4.14)$$

де $\gamma = \frac{U_{1a}}{U_{1aH}}$ – відносна напруга статора;

$\nu = \frac{\omega_1}{\omega_{1H}}$ – відносна частота напруги статора, $\nu = 0,8$.

Або в спрощеному виді

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_E p + 1}. \quad (4.15)$$

Відповідно на підставі рівняння (4.14) маємо

$$\frac{\Delta \bar{M}(p)}{\Delta \bar{\omega}_1(p) - \Delta \bar{\omega}(p)} = \left(\frac{\gamma}{\nu} \right)^2 \frac{1}{T_M p}, \quad (4.16)$$

де $T_M = \frac{J \omega_{0H}}{M_{П.Ф.Н.}}$ – механічна постійна часу двигуна, с.

Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні побудована на підставі виразів (4.15), (4.16), показана на рисунку 4.6.

При розробці математичної моделі електропривода використано декілька допущень [17]:

- частотний перетворювач, який працює у замкнутій системі керування по швидкості, здатен виконувати плавне регулювання частоти струму двигуна таким чином, що двигун працює на практично лінійній частині характеристики (момент опору від 0 до номінального і ковзання від 0 до номінального);
- вважаємо, що датчик швидкості має дуже малу інерційність, яку можна не

брати до розрахунків.

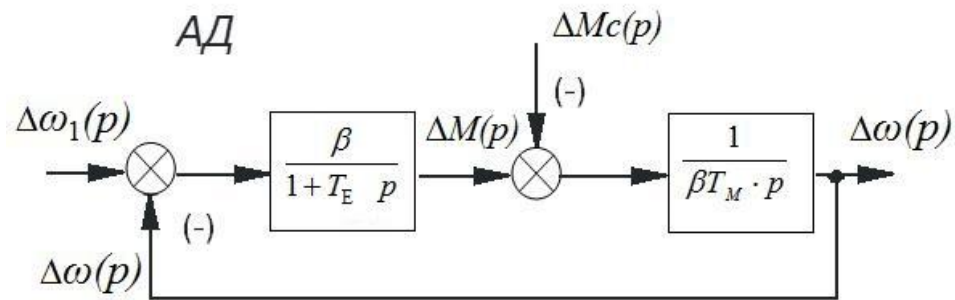


Рисунок 4.6 – Спрощена структурна схема асинхронного двигуна при частотно-струмовому керуванні

Складаємо структурну схему для подальшого моделювання, виходячи з припущень, що система керування з частотним перетворювачем у складі замкненої системи керування відповідає по структурі двоконтурній системі підлеглого керування із внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром швидкості.

На рисунку 4.7 наведена структурна схема такого привода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна.

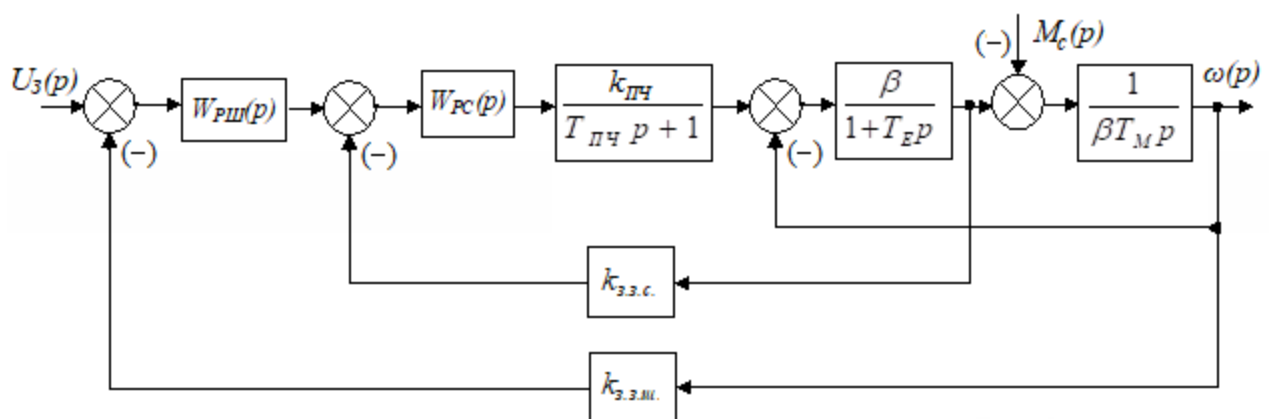


Рисунок 4.7 – Структурна схема електропривода зі спрощеною математичною моделлю електродвигуна

4.3 Синтез регуляторів електропривода з частотно-струмовим керуванням

Розглянемо докладніше структурну схему зображену на рисунку 4.4.

На схемі прийняті наступні позначення:

$W_{PII}(p)$ – передатна функція регулятора швидкості;

$W_{PC}(p)$ – передатна функція регулятора струму;

β – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики;

T_E – еквівалентна електромагнітна постійна часу кіл статора та ротора АД;

$k_{ПЧ}$ – передатний коефіцієнт перетворювача частоти; $k_{ПЧ} = 50$;

$T_{ПЧ}$ – постійна часу кола керування ЧП, яка при високих частотах модуляції вихідної напруги промислових ЧП (2...50 кГц) не перевищує 0,005 с.

Зворотні зв'язки за струмом та швидкістю виконаємо за допомогою пропорційних ланок з коефіцієнтами $k_{з.з.с}$ і $k_{з.з.ш}$ відповідно. Вважаємо коефіцієнти підсилення рівними 10.

Регулятори швидкості і струму приймаємо як пропорційно-інтегральні ланки з коефіцієнтами передачі k_{PII} і k_{PC} та постійними часу T_{PII} і T_{PC} відповідно:

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p}; \quad W_{PC}(p) = \frac{\Delta u_{PC}}{\Delta u_K} = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} p}.$$

Структурна схема з наведеними передатними функціями регуляторів зображена на рисунку 4.8 [9].

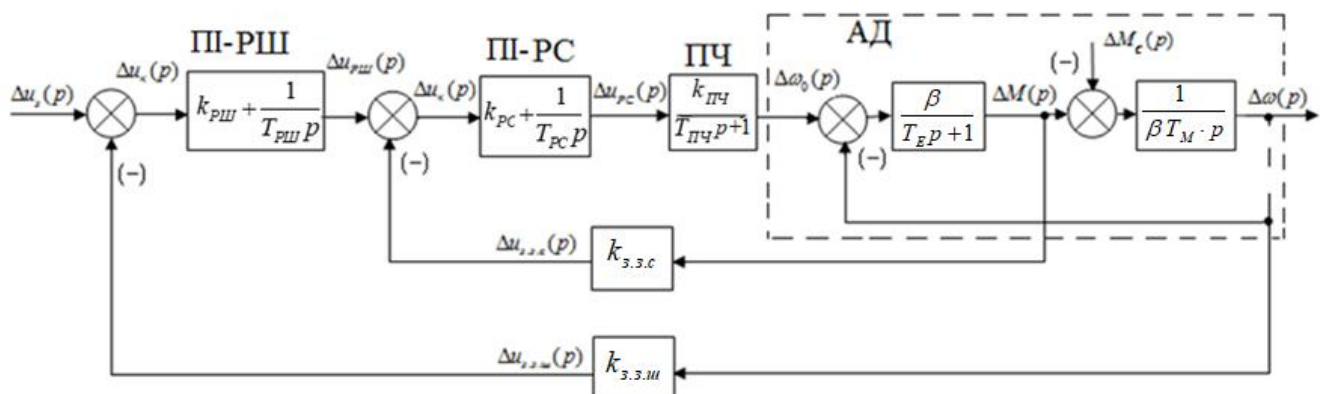


Рисунок 4.8 – Структурна схема електропривода

Розрахуємо параметри елементів структурної схеми, зображеної на рисунку 4.5.

Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні технічні характеристики МАП 621-4/12

Найменування параметрів	Значення
Номінальна потужність P_H , кВт	65
Номінальна напруга, U_H , В	380
Номінальний струм, I_H , А	119,32
Номінальна частота обертання ротора n_H , об/хв.	1480
Номінальне ковзання, S_H	0,04
Критичне ковзання, S_{KP}	0,06
Момент інерції двигуна, J_H , кг · м ²	0,2
Число пар полюсів, $Z_p = 2p$	2
Частота живлення мережі f , Гц	50
Коефіцієнт корисної дії, η_H , %	93,0
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi_H$, %	89
Відношення пускового моменту до номінального, M_{II}/M_H	2,0
Відношення максимального моменту до номінального, M_{max}/M_H	2,3

Виконуємо розрахунок даних для елементів структурної схеми [17].

Кутова швидкість електромагнітного поля статора при його номінальній частоті живлення ($f = 50$ Гц) ω_C , рад/с,

$$\omega_C = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (4.17)$$

$$\omega_C = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,16 \text{ рад/с}.$$

Номінальна кутова швидкість ротора двигуна ω_H , рад/с,

$$\omega_H = \frac{\omega_C \cdot (1 - S_H)}{p}, \quad (4.18)$$

$$\omega_H = \frac{314,16 \cdot (1 - 0,04)}{2} = 150,7 \text{ рад/с}.$$

Номінальний момент двигуна M_H , Н·м,

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (4.19)$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{65000}{150,7} = 431,3 \text{ Н·м}.$$

Пусковий момент двигуна M_{II} , Н·м,

$$M_{II} = \frac{M_{II}}{M_H} \cdot M_H, \quad (4.20)$$

$$M_{II} = 2,0 \cdot 431,3 = 862,6 \text{ Н·м}.$$

Максимальний момент двигуна $M_{\max}$, Н·м,

$$M_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_H} \cdot M_H, \quad (4.21)$$

$$M_{\max} = 2,3 \cdot 431,3 = 992 \text{ Н·м}.$$

Номінальна фазна напруга двигуна U_ϕ , В,

$$U_\phi = \frac{U_H}{\sqrt{3}}, \quad (4.22)$$

$$U_\phi = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

Модуль жорсткості механічної характеристики АД β , $\frac{\text{Н·м}}{\text{с}^{-1}}$,

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_H \cdot S_H}, \quad (4.23)$$

$$\beta = \frac{431,3}{150,7 \cdot 0,04} = 71,5 \frac{\text{Н·м}}{\text{с}^{-1}}.$$

Еквівалентна електромагнітна постійна часу ланок статора і ротора T_E , с,

$$T_E = \frac{1}{\omega_C \cdot S_{KP}}, \quad (4.24)$$

$$T_E = \frac{1}{314,16 \cdot 0,06} = 0,054 \text{ с}.$$

Сумарний момент інерції електропривода J_{Σ} , $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,

$$J_{\Sigma} = J_H + 0,6 \cdot J_H, \quad (4.25)$$

$$J_{\Sigma} = 0,2 + 0,6 \cdot 0,2 = 0,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Електромеханічна постійна часу двигуна T_M , с,

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta}, \quad (4.26)$$

$$T_M = \frac{0,32}{71,5} = 0,004 \text{ с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю $k_{3.3.ш.}$, В·с,

$$k_{3.3.ш.} = \frac{u_{3.3.ш.ном}}{\omega_H}, \quad (4.27)$$

де $u_{3.3.ш.ном}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{3.3.ш.ном} = 10$ В.

$$k_{3.3.ш.} = \frac{10}{150,7} = 0,066 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом $k_{3.3.с.}$, $\frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{м}}$,

$$k_{3.3.с.} = \frac{u_{3.3.с.ном}}{M_H}, \quad (4.28)$$

де $u_{3.3.с.ном}$ – напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $u_{3.3.с.ном} = 10$ В.

$$k_{3.3.с.} = \frac{10}{431,3} = 0,023 \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{Н} \cdot \text{м}}.$$

Передатна функція перетворювача частоти разом з випрямлячем $W_{ПЧ}(p)$,

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{k_{ПЧ}}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}, \quad (4.29)$$

де $T_{ПЧ}$ – постійна часу комутації для тиристорів. Приймаємо $T_{ПЧ} = 0,005$ с,

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1}.$$

Передатна функція регулятора струму $W_{РС}(p)$,

$$W_{PC}(p) = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}, \quad (4.30)$$

де k_{PC} – коефіцієнт передачі регулятора швидкості. Приймаємо $k_{PC} = 10$;

T_{PC} – постійна часу регулятора струму, с,

$$T_{PC} = 2 \cdot T_{ПЧ} \cdot \beta \cdot k_{з.з.с.}, \quad (4.31)$$

$$T_{PC} = 2 \cdot 0,005 \cdot 71,5 \cdot 0,023 = 0,016 \text{ с.}$$

Передатна функція регулятора струму після підстановки чисел матиме вигляд

$$W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,016 \cdot p}.$$

Передатна функція регулятора швидкості $W_{PII}(p)$,

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p}, \quad (4.32)$$

де k_{PII} – коефіцієнт передачі регулятора швидкості. Приймаємо $k_{PII} = 10$;

T_{PII} – постійна часу регулятора швидкості.

Для первинних розрахунків приймаємо, що величина постійної часу регулятора швидкості T_{PII} дорівнює величині постійної часу двигуна.

$$T_{PII} = T_M = 0,004 \text{ с.}$$

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,004 \cdot p}.$$

4.4 Аналіз динамічних властивостей системи керування електропривода буксирної лебідки

Визначення параметрів здійснюється за допомогою перехідних характеристик. Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів зведені в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для розрахунку перехідних процесів системи

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики	$\frac{H \cdot m}{c^{-1}}$	$\beta = 71,5$
Постійна часу регулятора швидкості	с	$T_{PII} = 0,004$
Постійна часу перетворювача	с	$T_{ПЧ} = 0,005$
Постійна часу регулятора струму	с	$T_{PC} = 0,016$
Коефіцієнт підсилення (передачі) перетворювача	-	$k_{ПЧ} = 50$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом	$\frac{B \cdot A}{H \cdot m}$	$k_{з.з.с.} = 0,023$
Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю	В·с	$k_{з.з.ш.} = 0,066$
Електромагнітна стала часу	с	$T_E = 0,054$
Електромеханічна постійна часу	с	$T_M = 0,004$
Коефіцієнт підсилення (передачі) регулятора швидкості	-	$k_{PII} = 10$
Коефіцієнт підсилення (передачі) регулятора струму	-	$k_{PC} = 10$

Передатні функції ланок.

Асинхронного двигуна

$$W_{AD}(p) = \frac{\beta}{T_E \cdot p + 1} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_M \cdot p}$$

$$W_{AD}(p) = \frac{71,5}{0,054p + 1} \cdot \frac{1}{71,5 \cdot 0,004p} =$$

$$= \frac{71,5}{0,054p + 1} \cdot \frac{1}{0,29p}$$

Перетворювача частоти

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{k_{ПЧ}}{T_{ПЧ} \cdot p + 1}$$

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{50}{0,005 \cdot p + 1}$$

Регулятора струму

$$W_{PC}(p) = k_{PC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p}$$

$$W_{PC}(p) = 10 + \frac{1}{0,016 \cdot p}$$

Регулятора швидкості

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{1}{T_{PII} \cdot p}$$

$$W_{PII}(p) = 10 + \frac{1}{0,004 \cdot p}$$

Фільтра на вході системи керування

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot T_{PII} \cdot p + 1}$$

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1}{3 \cdot 0,004 \cdot p + 1} = \frac{1}{0,012 \cdot p + 1}$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом

$$W_{ззс}(p) = k_{ззс}$$

$$k_{з.з.с} = 0,023$$

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за швидкістю

$$W_{ззш}(p) = k_{з.з.ш}$$

$$k_{з.з.ш} = 0,066$$

Дослідження динамічних характеристик системи керування проводиться за наступних умов:

– напруга завдання швидкості є стрибкоподібною зі значенням:

$$u_{з.ш.} = k_{з.з.ш} \cdot \omega_H; \quad u_{з.з.ш.} = 0,066 \cdot 150,7 = 10 \text{ В};$$

– статичний момент, що прикладений до валу двигуна, складась:

$$M_C = 30\% \cdot M_H; \quad M_C = 0,30 \cdot 431,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

– у момент часу $t=1,5$ с подається вплив, що обурює, у вигляді стрибкоподібного додатка номінального моменту на валу ЕД M_H після завершення попереднього перехідного процесу.

Дослідження і порівняння характеру перехідних процесів системи керування виконується із заміною ПІ-регулятора швидкості на П-регулятор швидкості, а також при встановленні фільтра на вхід системи керування з ПІ-регулятором швидкості.

Моделі системи побудовані в математичній програмі Simulink пакету Matlab та зображені на рисунках 4.9, 4.10, 4.11 [7].

На схемах зображено:

«Step» – джерело східчастого впливу величиною 10 В;

«Scope1» та «Scope2» – використовуються для отримання графіку перехідного процесу за швидкістю та струмом відповідно;

«Gain1» та «Gain2» - реалізують пропорційну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно;

«Transfer Fcn1» та «Transfer Fcn2» - реалізують інтегральну складову ПІ-регуляторів швидкості та струму відповідно.

«Transfer Fcn3» - реалізує передатну функцію частотного перетворювача;

«Transfer Fcn4» та «Transfer Fcn5» – реалізують лінеаризовану модель двигуна;

«Transfer Fcn6» та «Transfer Fcn7» – реалізують передатну функцію датчика струму та датчика швидкості відповідно;

«Gain4» та «Gain5» - датчики струму та швидкості відповідно.

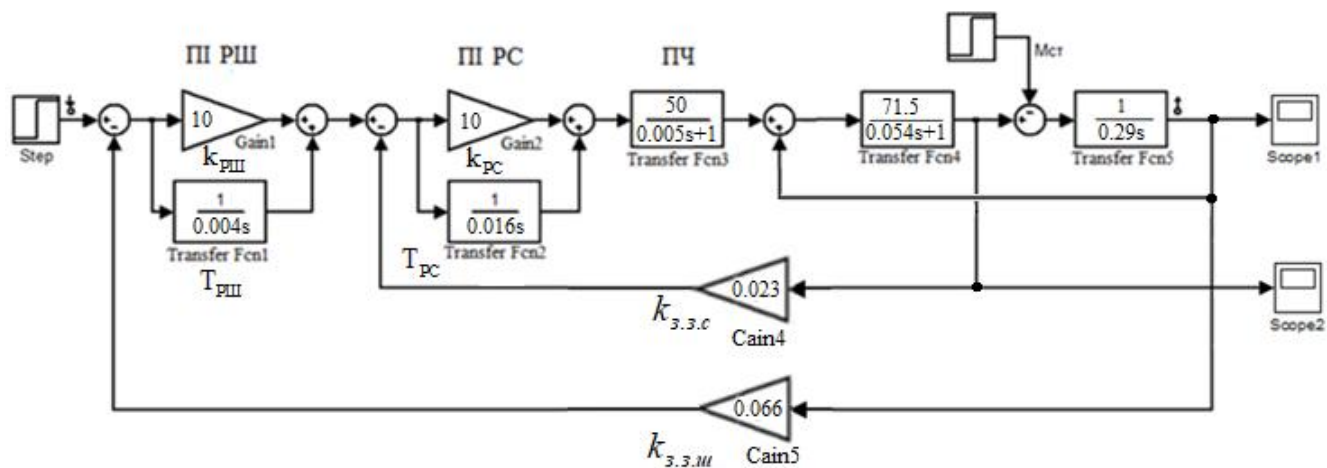


Рисунок 4.9 – Структурна схема системи з ПІ-регулятором швидкості

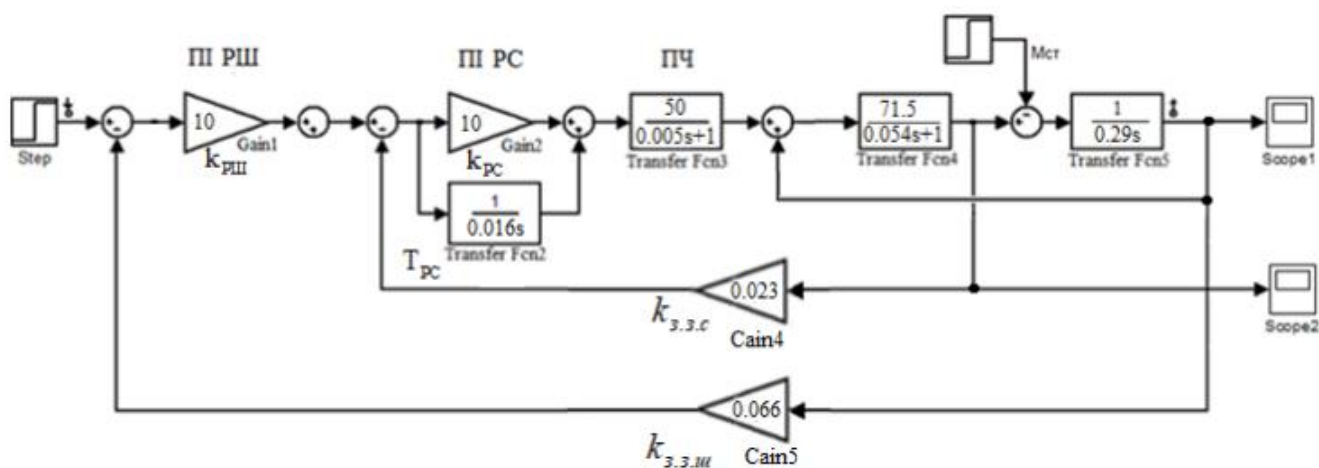


Рисунок 4.10 – Структурна схема системи з ПІ-регулятором швидкості

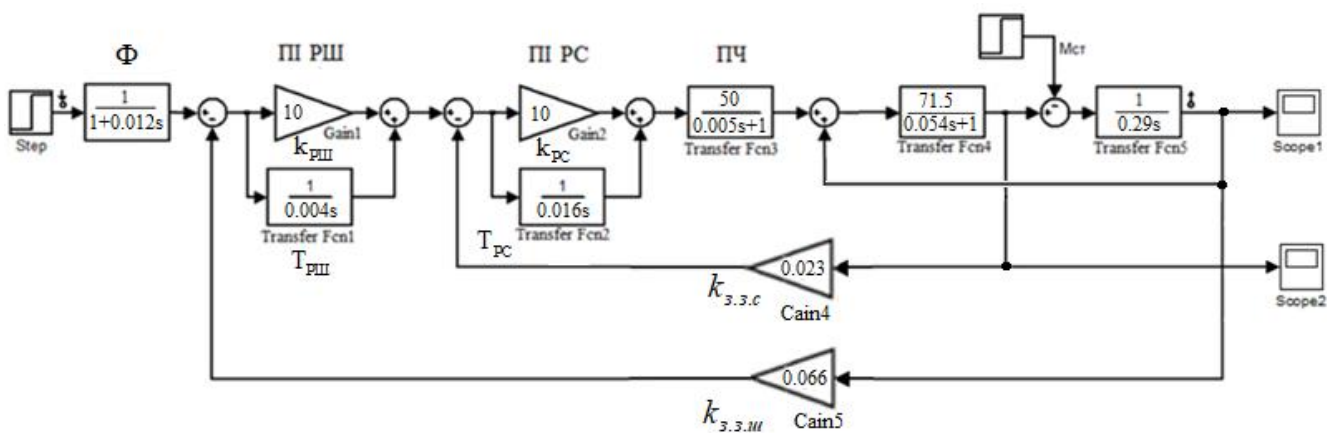


Рисунок 4.11 – Структурна схема системи керування з фільтром на вході

В даній моделі був використаний фільтр з метою поліпшення динамічних характеристик та зменшення перерегулювання по швидкості, так як під час дослідження воно сягало більше 30 %, що є недопустимим для системи.

На рисунках 4.12, 4.13 та 4.14 зображені перехідні характеристики швидкості обертання валу двигуна із застосуванням ПІ-регулятора швидкості, П-регулятора швидкості, та ПІ-регулятора швидкості і фільтром на вході системи відповідно.

На рисунках 4.15, 4.16 та 4.17 зображено перехідні характеристики струму статора двигуна із застосуванням ПІ-регулятора швидкості, П-регулятора швидкості, та ПІ-регулятора швидкості і фільтром на вході системи відповідно.

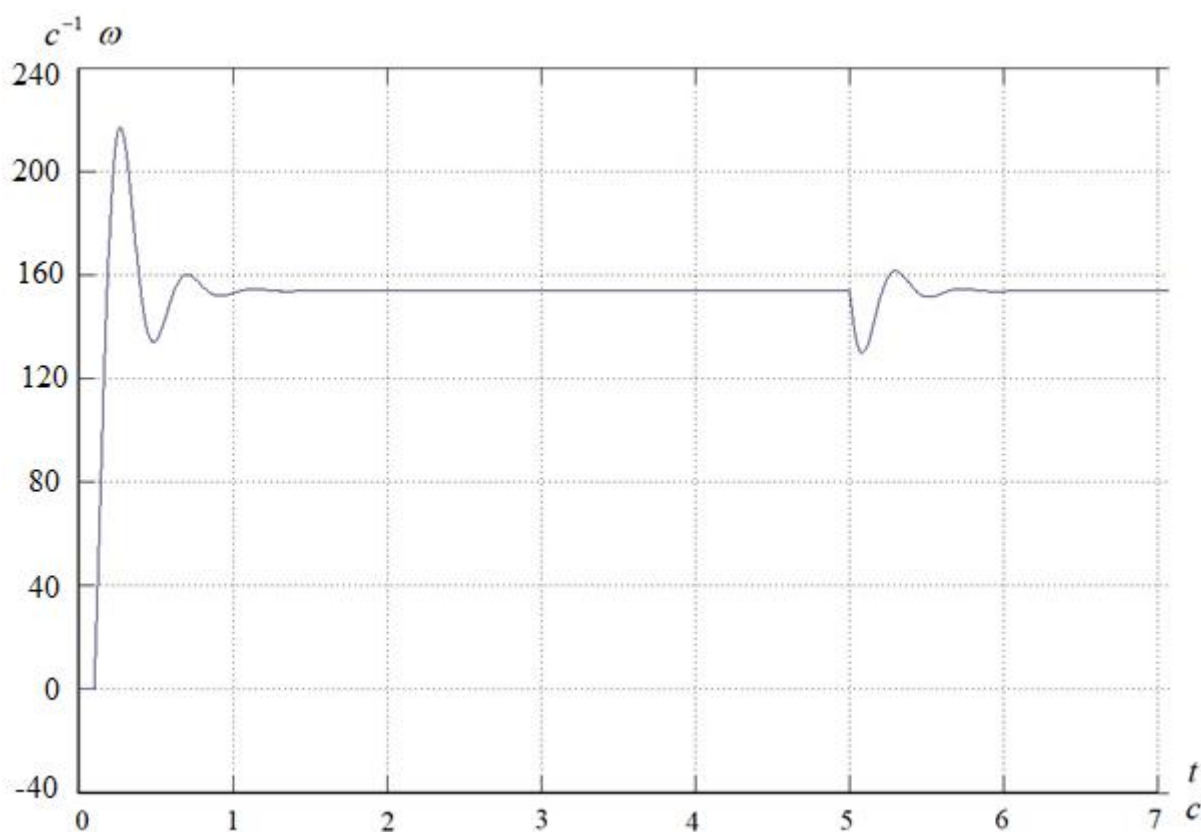


Рисунок 4.12 – Графік перехідного процесу по швидкості системи керування з ПІ-регулятором

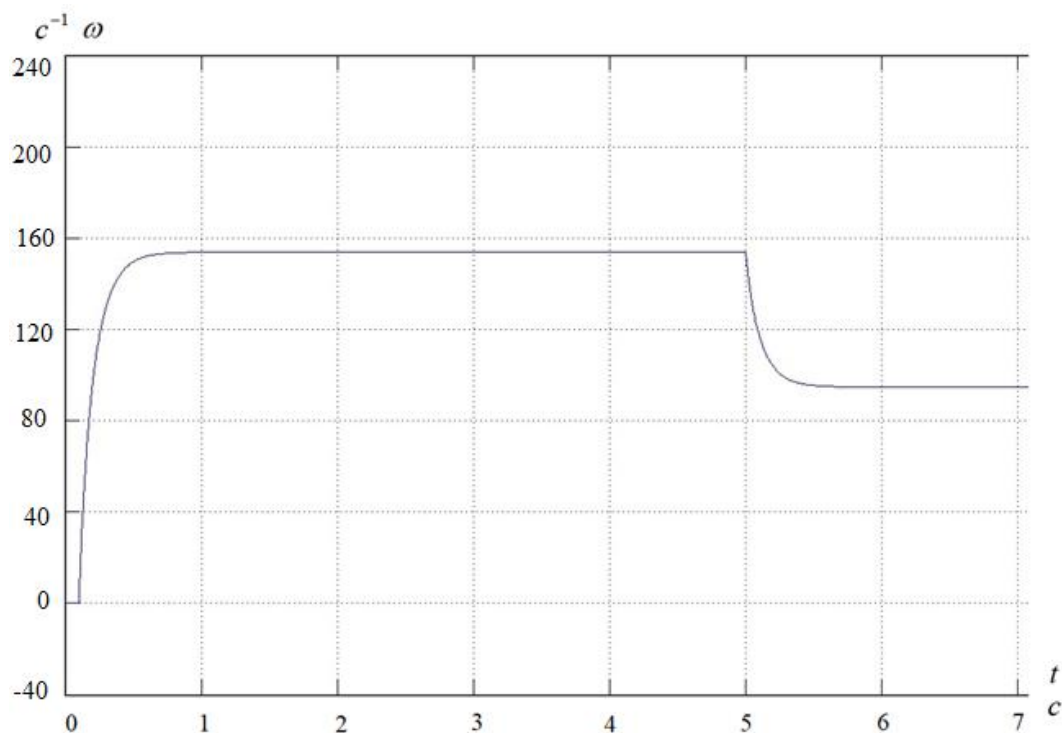


Рисунок 4.13– Графік перехідного процесу по швидкості системи керування з П-регулятором

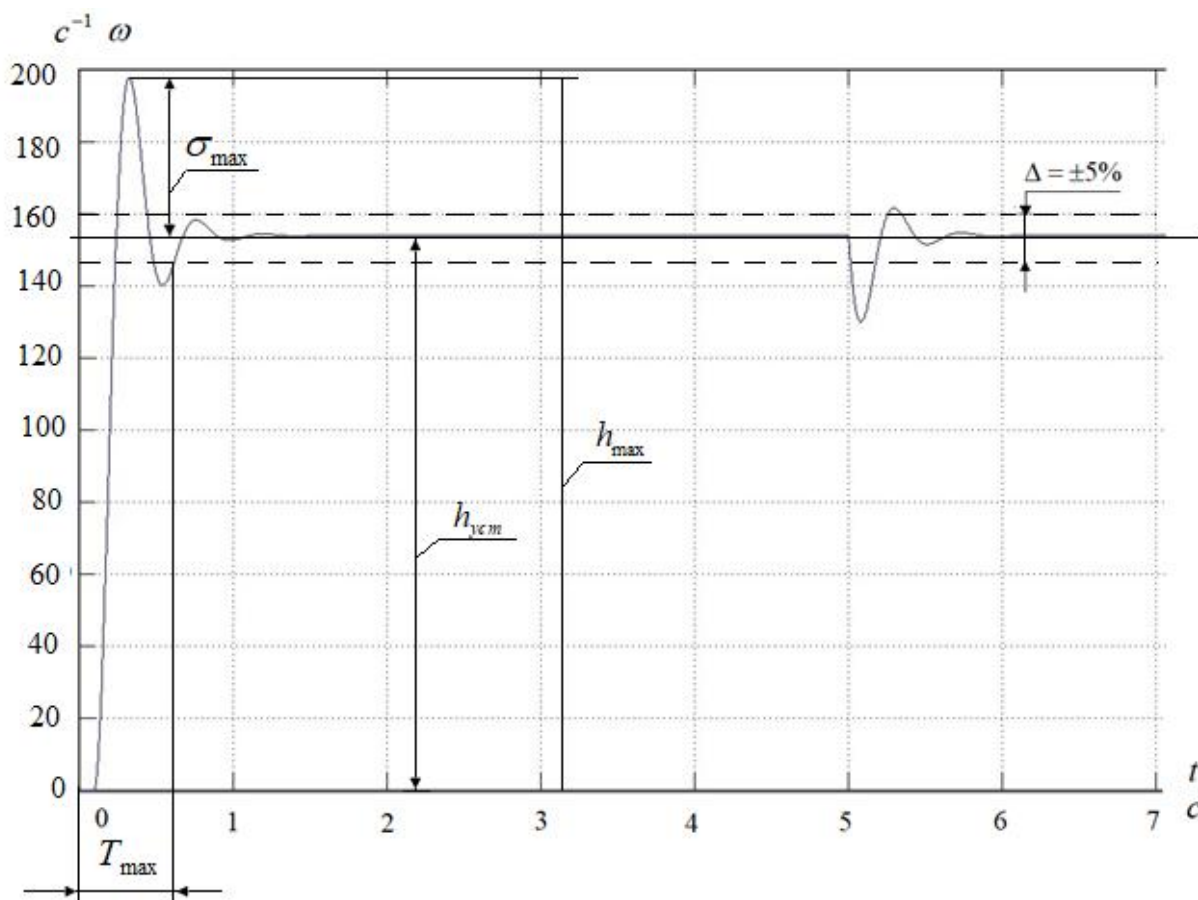


Рисунок 4.14 – Графік перехідного процесу по швидкості системи керування з ПІ-регулятором та фільтром на вході

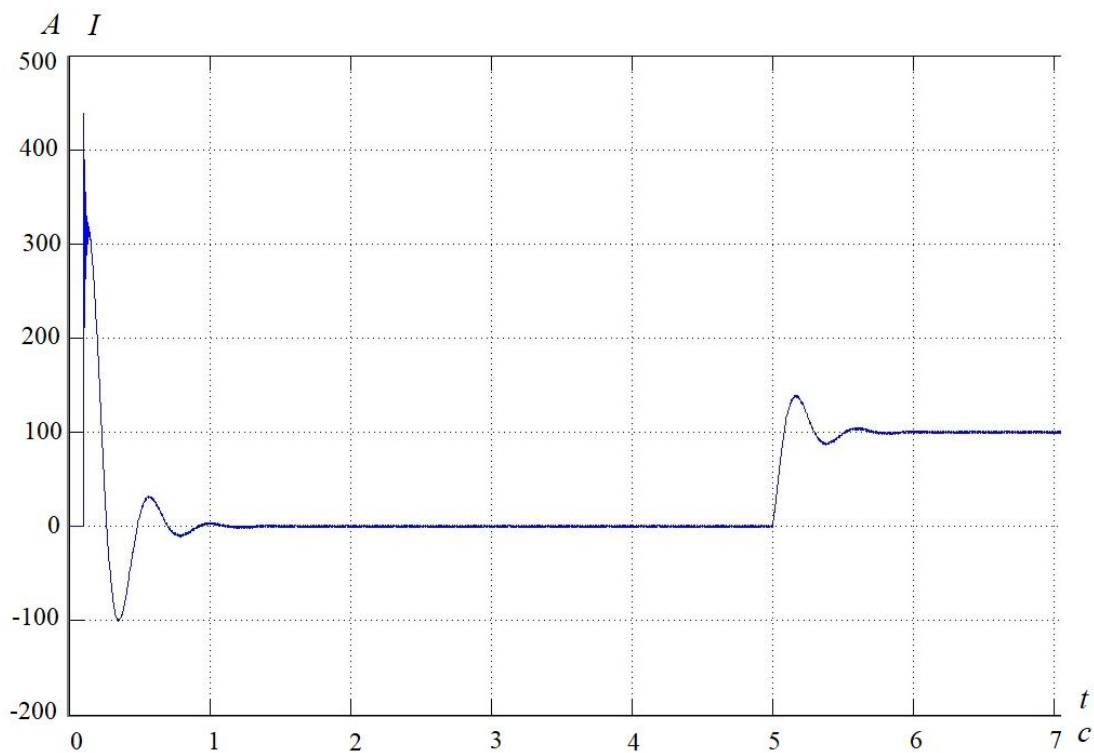


Рисунок 4.15 – Графік перехідного процесу по струму системи керування з ПІ-регулятором

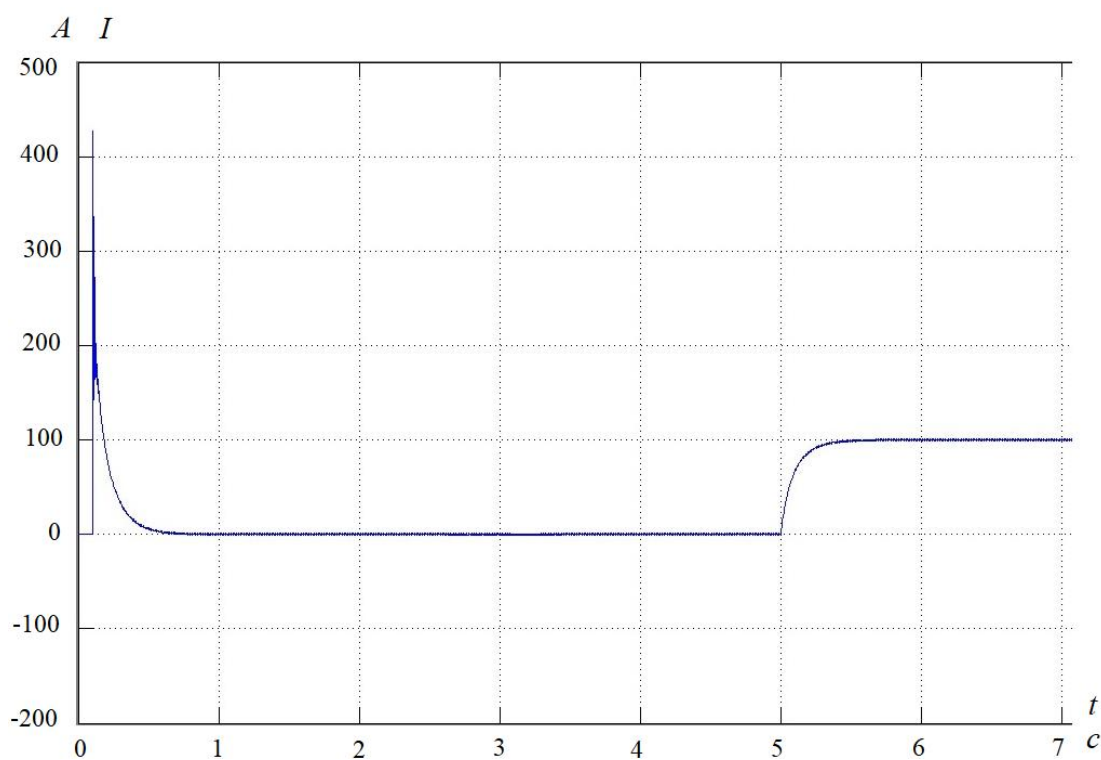


Рисунок 4.16 – Графік перехідного процесу по струму системи керування з П-регулятором

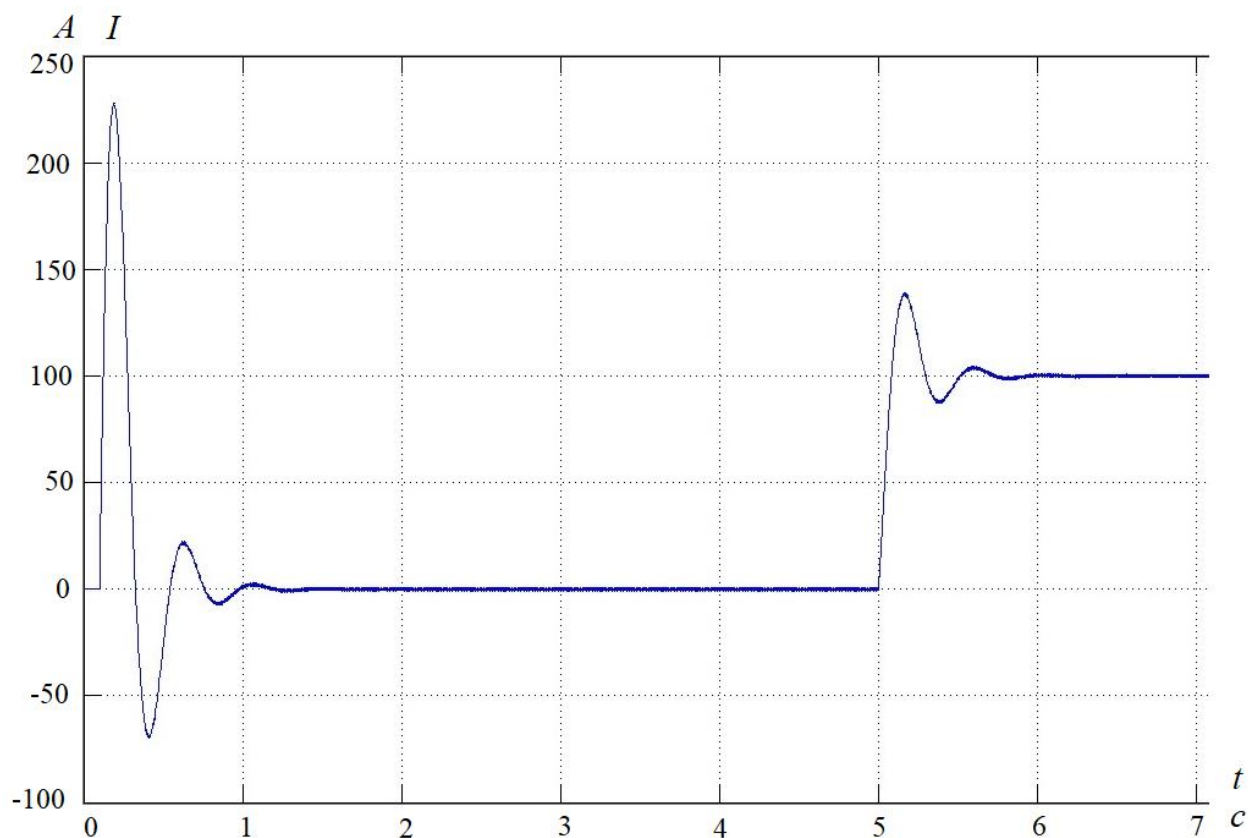


Рисунок 4.17 – Графік перехідного процесу по струму системи керування з ПІ-регулятором та фільтром

Основні показники якості регулювання зведені в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Основні показники якості регулювання

Тип регулятора	$h_{уст}, c^{-1}$	h_{max}, c^{-1}	$\sigma, \%$	$T_{max} c$	$\varepsilon_{ст}, \%$	N
ПІ-регулятор	155	230	48,3	0,55	0	1
П-регулятор	155	155	0	0,4	37	0
ПІ-регулятор з фільтром на вході	155	195	25,8	0,6	0	1

Отримано наступні результати дослідження динамічних властивостей:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 48,3 \%$, час перехідного процесу $T_{max} = 0,55 c$, коливальність $N = 1$;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,4$ с, але при цьому виникла статична похибка $\varepsilon = 37$ %;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 25,8$ %, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,6$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищують максимально допустимих значень.

Враховуючи отримані результати дослідження, остаточно для системи керування була обрана схема з ПІ-регулятором та фільтром на вході в систему.

4.5 Висновки до розділу 4:

- розглянута функціональна схема замкнутої системи ПЧ-АД з частотно-струмовим керуванням та її робота,
- на основі функціональної схеми складена структурна схема частотно-струмової системи керування та розраховані її параметри;
- в математичній програмі Simulink пакету Matlab були побудовані моделі структурних схем із застосуванням ПІ-регулятора швидкості, П-регулятора швидкості, та ПІ-регулятора швидкості і фільтром на вході в систему;
- проведений аналіз динамічних властивостей розглянутих схем та обрана система керування, яка задовольняє заявленим вимогам.

Розділ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДА БУКСИРНОЇ ЛЕБІДКИ

Головним завданням Охорони праці на судні є профілактика попереджень аварій і небезпек, які можуть виникнути в процесі проведення монтажних і ремонтних робіт у різних кліматичних умовах плавання й особливо в штормову погоду, коли виникають несправності на судні через поломку головної енергоустановки або судно знеструмлене.

Застосування нової техніки, прогресивних методів організації праці й технології ремонту, удосконалювання організації ремонтних робіт, застосування сучасних захисних засобів і пристроїв сприяють поліпшенню умов праці на судах.

Грамотна технічна експлуатація судових електроприводів можлива лише при строгому дотриманні правил і норм техніки безпеки.

5.1 Аналіз небезпек і шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання судових палубних механізмів

Шум на судах. Характеристика шуму. Висока енергоозброєність сучасних суден, їх насиченість різними пристроями та механізмами створюють умови для виникнення інтенсивного шуму. Його джерелом може бути будь-яке тіло, що коливається, виведене з стійкого стану зовнішньою силою [3,11].

У фізіологічному сенсі під шумом розуміється будь-який звук, що порушує тишу та має шкідливу дію на організм людини.

Рівні шуму в судових приміщеннях нерідко перевищують санітарні норми: у машинних відділеннях морських суден – на 20 дБ, в службових приміщеннях – на 25 дБ і більше. Більшість цих перевищень співпадають з діапазоном частот 2000-6000 Гц, що несприятливо діють на організм людини.

Найбільш інтенсивний шум спостерігається на судах з підводними крилами та на повітряній подушці.

У енергетичних відділеннях, обладнаних двигунами з частотою обертання валу менше 300 об/хв., інтенсивність шуму не більше 100 дБ, а максимальні рівні спектру розташовуються в області середніх і високих частот. На суднах з двигунами, частота обертання валу яких перевищує 300 об/хв., інтенсивність шуму в енергетичному відділенні вище 100 дБ (до 120 дБ) з переважанням звукової енергії в області середніх і високих частот. В цілому, рівні шуму в енергетичних відділеннях коливаються в широких межах: від 84 до 120 дБ. Залежно від розмірів енергетичного відділення, його акустичних властивостей, коефіцієнта звукопоглинання бортів і перегородок, кількості працюючих двигунів відмінності в рівнях шуму можуть скласти 2-5 дБ і більше.

Дія шуму на організм людини. Специфічною особливістю праці моряків є цілодобова, часто багатомісячна безперервна дія шуму на організм. Ступінь шкідливого впливу шуму на організм людини визначається його інтенсивністю, частотним спектром, тривалістю та постійністю дії, індивідуальною чуттєвістю організму, а також супутніми чинниками суднового середовища: вібрацією, високочастотними (ВЧ) і надвисокочастотними (НВЧ) випромінюваннями, токсичними виділеннями полімерних матеріалів.

Вібрації на суднах. Характеристика вібрацій. Коливальні процеси, що відбуваються в корпусних конструкціях судна, машинах і механізмах, називають вібрацією [3].

Як порогові, прийняті величини коливальної швидкості або прискорення, відповідні стандартизованому значенню порогового звукового тиску 2×10^{-5} Н/м² на частоті 1000 Гц. Відповідно нульовий рівень коливальної швидкості рівний 5×10^{-8} м/с, а коливального прискорення 3×10^{-4} м/с².

Головними джерелами вібрації на суднах є гребні гвинти, двигуни, валопроводи та допоміжні механізми. Вібрацію можуть викликати також хвилювання моря та удари льоду об корпус судна. Розміщення могутніх енергетичних установок у відносно невеликому по розмірах машинному відділенні підсилює вібрацію. Від дизеля передаються коливання в області інфразвукових і низьких звукових частот. Інтенсивну вібрацію створюють генератори газу

енергетичних установок газотурбоходів унаслідок газодинамічних процесів, що відбуваються в робочому циліндрі.

Значну вібрацію створюють парові і газові турбіни. Основні джерела вібрації суднових паротурбінних установок – редуктор і парова турбіна. Гребні гвинти є джерелами низькочастотної вібрації. Гідродинамічні зусилля від гребного гвинта, що обертається, передаються на корпус судна, порушуючи в ньому коливання. Джерелом звукових вібрацій може бути кермо. Чим він тонший, тим сильніше вібрує. Ходова вібрація судна може бути викликана механічними або гідродинамічними причинами, незбалансованістю гребного гвинта, порушенням його геометричної форми.

Для великих суден (контейнеровозів, танкерів, рудовозів) істотне значення має хвильова вібрація. При русі на хвилюванні корпус судна служить резонатором, у зв'язку з чим виникає загальна вібрація корпусу та інших конструктивних елементів. Однією з основних причин вібрації на суднах є періодичні збуджуючі зусилля, що з'являються при обертанні гребних гвинтів і роботі головних і допоміжних двигунів. Вимушена вібрація, що виникає при цьому, охоплює широкий частотний діапазон: від 0,8 до 20 Гц.

Найбільш значні перевищення гігієнічних норм вібрації мають місце в енергетичних відділеннях у головного пульта управління двигунами, на майданчику між двигунами, в кормовій частині судна.

Одним з характерних симптомів несприятливої дії вібрації і шуму на організм людини є порушення слухової функції. У членів машинних команд річкових суден вже після першого року плавання виникають початкові форми кохлеарного невриту. Із зростанням стажу поразка органів слуху прогресує. Стійкі зміни слуху настають через 5 років. Для вібраційних порушень характерне зниження слуху в області низьких частот.

Підвищення порогів слуху наголошується у всьому слуховому діапазоні частот, причому максимальні в низькочастотній (125-500 Гц) і високочастотній (4000 Гц) областях.

У членів плавскладу з великим стажем роботи дія вібрації та шуму виявляється в чітко вираженій гіпертонії. Зрушення артеріального тиску та частоти

пульсу більш виражені у екіпажів вантажних суден, чим у пасажирських, унаслідок вищих рівнів вібрації в житлових і суспільних приміщеннях.

Електромагнітні поля на суднах. Ступінь опромінювання електричним полем залежить від рівня його напруженості й тривалості дії. Тривалість перебування людини в електричному полі повинна знаходитися в зворотній залежності від напруженості поля. Гранично допустима напруженість електромагнітного поля (ЕМП) на робочих місцях не повинна перевищувати величин, передбачених відповідними санітарними правилами та ГОСТом [6].

Випромінювана в навколишнє середовище електромагнітна енергія може робити несприятливий вплив на організм людини. Механізм дії ЕМП пояснюється його тепловим і нетепловим (атермічним) ефектами.

Довга дія ЕМП приводить до функціональних змін нервової системи, що проявляються в підвищеній стомлюваності, головному болю, сонливості, роздратованості, у відчутті болю в області серця. Після припинення опромінювання ці явища швидко проходять. Проте систематичну дію ЕМП високої напруги може привести до функціональних порушень серцево-судинної системи (синусна тахікардія, порушення внутрішньо-шлункової провідності) і зміни показників периферичної крові.

При порушенні техніки безпеки, в аварійних ситуаціях може мати місце опромінювання високої інтенсивності, що викликає деструктивні зміни в органах і тканинах. Дія випромінювань НВЧ може привести до розвитку катаракти. Наголошуються також порушення з боку ендокринної системи (щитовидної залози, гіпофіза, статевих залоз).

5.2 Заходи з охорони праці при роботі з електроустаткуванням суднового палубного обладнання

Профілактика і заходи зменшення дії шуму на організм людини. Радикальним рішенням проблеми захисту від шуму є зниження шуму в самому джерелі. Основні засоби – конструктивні. В першу чергу треба використовувати менш галасливі двигуни. Крім того, необхідно застосовувати засоби шумоізоляції

дизелів від суднових корпусних конструкцій шляхом їх установки на гумометалевих амортизаторах, що забезпечують зниження шуму до санітарних норм.

Для зниження аеродинамічних шумів, що створюються двигунами, використовують глушники різних конструкцій. Застосування глушників дозволяє понизити загальний рівень шуму на 10-12 дБ.

Для зниження повітряного шуму, що випромінюється зовнішніми поверхнями дизелів, сполучених з генераторами, використовуються звукоізоляційні кожухи або бокси, що дозволяють зменшити загальний рівень шуму на 10-15 дБ, а високочастотного – на 20 дБ і більше.

До противошумів пред'являються наступні гігієнічні вимоги: не викликати роздратування шкіри зовнішнього слухового проходу, больових відчуттів протягом вахти, бути зручними при користуванні.

У практиці захисту органів слуху від дії підвищених рівнів шуму використовуються вкладиші багатократного (втулки з мілко-пористої гуми) і однократного (з суміші волокон органічної бактерицидної вати) користування.

У тих випадках, коли загальні рівні шуму не перевищують 100 дБ, досить застосовувати вкладиші, а при шумі вище за цей рівень рекомендується користуватися вкладишами та навушниками одночасно. Ослаблення звуку на високих частотах при цьому складає 50 дБ і більше.

Слід заборонити перебування людей в місцях, де октавні рівні звукового тиску в будь-якій октавній смузі перевищують 130 дБ. Зони з рівнями шуму вище 85 дБ повинні бути позначені знаками безпеки: «Працювати із застосуванням засобів захисту органів слуху».

Профілактика та заходи захисту від вібрації. Заходи по запобіганню дії вібрації на членів екіпажів і пасажирів суден здійснюються шляхом зменшення вібрації в самому джерелі її виникнення, попередження розповсюдження коливальної енергії від її джерел і обмеження шкідливої дії вібрації на організм людини. Для вирішення цих завдань в процесі проектування, виготовлення та збірки двигунів, механізмів, пристроїв і устаткування виконуються заходи конструктивного та технологічного характеру, направлені на зменшення вібрації в

джерелі; застосовуються відповідні засоби віброізоляції, вібропоглинання та вібропогашення для зменшення розповсюдження вібрації по повітрю та конструкціям; використовуються засоби комплексної автоматизації і дистанційного керування енергетичними установками, індивідуального захисту від вібрації; організовуються раціональний режим праці та медичний контроль.

За допомогою віброізоляційних засобів, до яких відносяться виброізолюючі фундаменти та муфти, амортизатори, гнучкі патрубки, прокладки з гуми та пластмаси, досягається обмеження розповсюдження вібрації від джерел в каюти екіпажа та пасажирів. Для віброізоляції механізмів використовуються гумометалеві амортизатори, а також амортизатори типу АКСС-М, АКСС-І, АПР, АПС. Ефективними засобами захисту від проникнення звукової вібрації в каюти і службові приміщення є плаваючі конструкції. Від несучих конструкцій вони віброізолювані за допомогою пружних елементів (гумометалевих амортизаторів, прокладок і смуг з гуми). Обмеження розповсюдження звукової вібрації по корпусних конструкціях в каюти може бути досягнуте застосуванням віброзатримуючих мас одночасно з вібропоглинаючими покриттями.

Для ослаблення вібрації в звуковому діапазоні частот на вібруючі металеві поверхні, фундаменти і суднові корпусні конструкції наносять вібропоглинаюче (демпфуюче) покриття. Жорсткі покриття (пластмаси) добре ослабляють вібрацію на низьких і середніх звукових частотах, м'які покриття (з гуми, мастикові) – на середніх і високих частотах. За допомогою вібропоглинаючих покриттів можна понизити звукову вібрацію в діапазоні частот від 60 Гц до 10 кГц на 3-8 дБ.

Профілактика та заходи захисту від дії електромагнітного випромінювання на організм людини. Персоналу, не зв'язаному з обслуговуванням джерел випромінювання, не дозволяється знаходитися в зонах дії ЕМП. Постійні робочі місця на відкритих палубах слід розміщувати тільки поза зоною дії ЕМП, небезпечних для людини. Ділянки палуби, небезпечні для перебування людей при роботі радіопередавачів, повинні бути позначені попереджувальними написами. Радіопередавачі і генераторні пристрої НВЧ слід розміщувати в спеціально призначених для цього екранованих приміщеннях. Лінії

радіопередавачів і генераторів НВЧ повинні бути надійно екрановані. Проводити їх через житлові приміщення не дозволяється.

З метою зниження або усунення електромагнітного випромінювання необхідно проводити електрогерметизацію елементів схем, блоків, вузлів і установки в цілому, а також екранування робочого місця. Екранування є одним з основних методів захисту від низькочастотних випромінювань і радіовипромінювань. Для цієї мети використовуються матеріали з високою електричною провідністю: мідь, латунь, алюміній і його сплави, листовая сталь, металеві сітки. Ефективність екранування залежить від частоти ЕМП, магнітної проникності матеріалу, його товщини, питомого опору. При екрануванні робочого місця використовуються поглинаючі, сітчасті та еластичні екрани. Ефективним засобом захисту радіооператорів від дії ЕМП є дистанційне керування передавачами. Зниження напруженості ЕМП на робочих місцях досягається комутацією електромагнітної енергії за допомогою загальних антенних комутаторів, винесених в окремі екрановані приміщення, створенням надійного електричного контакту в металевих з'єднаннях пристрою схем складання потужностей і розділових фільтрів.

Для зниження напруженості поля унаслідок просочування енергії в інші приміщення необхідно екранувати окремі ділянки приміщень, випромінювання під дією антенно-фідерних установок.

Як індивідуальні засоби захисту від дії ЕМП застосовується спеціальний одяг, виготовлений з металізованої тканини: комбінезони, куртки з капюшонами, халати та фартухи. При роботах в зонах з потужністю випромінювання понад 1000 мкВт/см² для захисту очей використовуються захисні окуляри (типу ОРЗ-5).

5.3 Висновки по розділу 5:

- - проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при роботі електрообладнання суднових палубних механізмів;
- наведені заходи щодо безпечної експлуатації електрообладнання буксирних лебідок.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню електромеханічної системи керування електропривода буксирної лебідки.

Основні результати роботи можна сформулювати наступним чином:

- проведено аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки, проведений літературний огляд джерел з дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода, обґрунтована актуальність задачі забезпечення стійкого руху буксирної системи, стабільного та безпечного процесу буксирування суден в різноманітних умовах експлуатації;

- побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження та вибраний метод математичного моделювання; розглянуті вимоги, що пред'являються до електроприводів вантажопідйомного обладнання;

- проведений аналіз існуючих типів електродвигунів, призначених для приводу суднових палубних механізмів, що працюють в повторно-короткочасному та короткочасному режимах на морських судах;

- в результаті проведеного аналізу існуючих типів систем керування для двигунів перемінного струму буксирної лебідки обраний частотно-струмовий спосіб керування, а для керування обраним електродвигуном серії МАП вибраний сучасний, універсальний комплектний електропривод Siemens Micromaster 440;

- проведений аналіз динаміки спроектованої системи керування.

Отримано наступні результати дослідження динамічних властивостей:

- при застосуванні пропорційно-інтегрального закону регулювання (ПІ-регулятор) перерегулювання склало $\sigma = 48,3 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,55$ с, коливальність $N = 1$;

- при застосуванні пропорційного закону регулювання (П-регулятор) перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу зменшився до $T_{\max} = 0,4$ с, але при цьому виникла статична похибка $\varepsilon = 37 \%$;

- при введенні аперіодичної ланки (у якості фільтра) на вхід системи керування з ПІ-регулятором, перерегулювання склало $\sigma = 25,8 \%$, час перехідного процесу $T_{\max} = 0,6$ с, коливальність $N = 1$, статична похибка відсутня $\varepsilon = 0$.

В результаті аналізу отриманих даних прийнята система керування із застосуванням ПІ-регулятора швидкості і фільтра на вході в систему.

При такій структурі системи керування максимальні відхилення струму не перевищує максимально допустимих значень.

Отримані результати підтверджують вирішення поставленої задачі по вдосконаленню динамічних якостей системи керування буксирної лебідки. Таким чином, основна мета роботи виконана.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання суднових палубних механізмів, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

Результати кваліфікаційної роботи магістра опубліковані у Матеріалах Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Автоматика та електротехніка" 20 – 21 листопада 2024 року.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Абраменко, І. Г.** Теорія автоматичного керування: конспект лекцій / І.Г. Абраменко, Д.І. Абраменко. - Харків : ХНАМГ, 2008. - 178 с.
2. **Александров М.Н.** Судовые устройства. Справочник. – Л.: Судостроение 1987. – 656 с.
3. **Березуцький В.В.** Основи охорони праці: Навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Х.: Факт, 2007. – 480 с.
4. **Бірта Г. О.** Методологія і організація наукових досліджень. навч. посіб. / Г. О. Бірта, Ю. Г. Бургу – К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 142 с.
5. Буксирная лебедка ЛЭЗ8. [Електронний ресурс]: Режим доступу <http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/mehanizm/specialnogo-naznacheniya.shtml>
6. **Видмиш А. А.** Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
7. **Гераїмчук М. Д.** Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK: Комп'ютерний практикум / М.Д. Гераїмчук, Ю.Ф. Лазарєв, Т.О. Толочко. – К.:, 2006. – 175с.
8. **Грабко В.В.** Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. / В.В. Грабко, М.П. Розводюк, С.М. Левицький, М.О. Казак – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
9. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. Посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
10. **Казачковський М. М.** Комплектні електроприводи: Навч. посібник / М. М. Казачковський. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 226 с.
11. **Камалєгин А.Л.** Охрана труда на судах. Методическое пособие . Одесса: Студия негоциант, 2005. - 220 с.
12. **Локарев В.И.** Судовые автоматизированные электроприводы. Учебное

пособие. — Николаев: УГМТУ, 2002. — 160 с.

13. **Миронов В. В.** Судовые автоматизированные электрические приводы: конспект лекций для высших морских учебных заведений / В. В. Миронов. - Херсон. 2007. – 612 с.

14. Регістр судноплавства України 2020. [Електронний ресурс]: Режим доступу https://www.shipregister.ua/wp-content/uploads/2022/09/PCBSSSt2_2020.pdf

15. Регульований електропривод: Підручник / І.М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, Д.А. Абдураманов, А.В. Торопов, О.В. Санченко; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.

16. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода : навч. посібник / М. В. Загірняк, Т. В. Коренькова, А. П. Калінов, А. І. Гладир, В. Г. Ковальчук. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – Харків: Видавництво «Точка», 2017. – 206 с.

17. **Терехов В.М.** Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд. – М.: Академия, 2006. – 304 с.

18. Электродвигатели асинхронные серии МАП. [Електронний ресурс]: Режим доступу http://neva-diesel.com/elektrodvigateli_asinhronnye_serii

19. Электропривод Siemens MICROMASTER 440. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ИАВК.655427.001 ТО.

ДОДАТОК А

Мультимедійна презентація

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Биков Микита Андрійович

Кваліфікаційна робота магістра на тему:

"Розробка та дослідження системи керування електропривода
автоматичної буксирної лебідки"

Керівник роботи – Васильєв О.Г.

АКТУАЛЬНІСТЬ, МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

Актуальність теми. В даній роботі досліджується система керування суднової буксирної лебідки, призначеної для буксирування несамохідного плавзасобу або судна, що втратило хід.

Безпека буксирних систем при маневруванні в морських і річкових портах України, особливо в надзвичайних умовах, багато в чому залежить від чіткої, безперебійної роботи палубного обладнання.

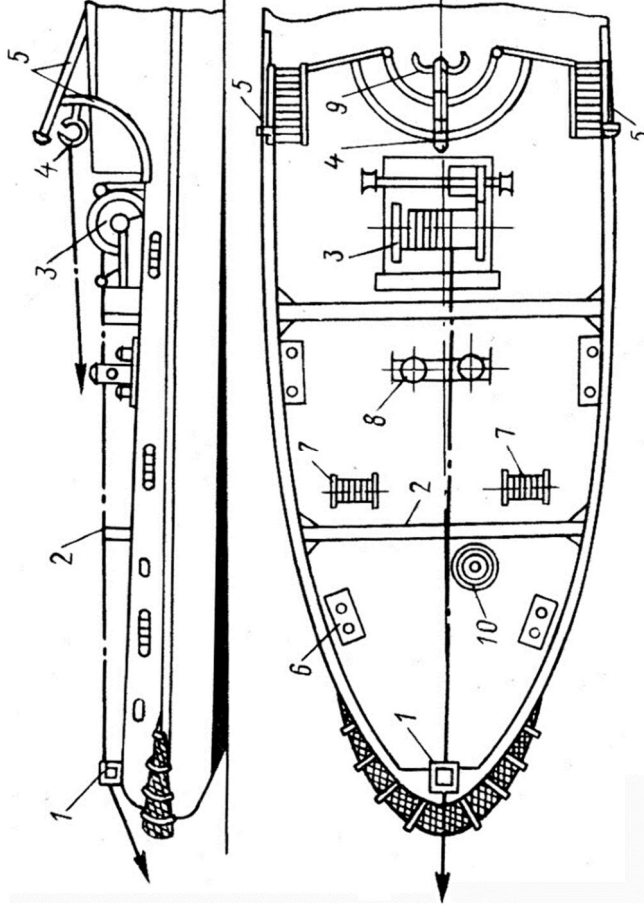
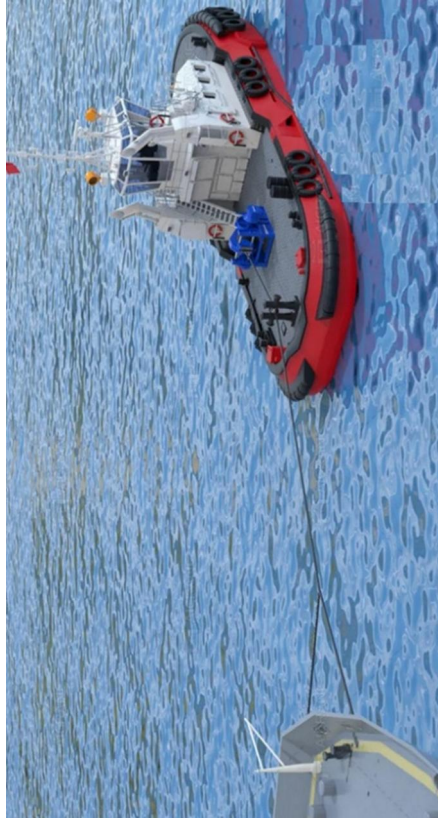
Рівень енергоємності та автоматизації сучасних суден незмінно збільшується, підвищується середня потужність суднових електроустановок, що обумовлює **актуальність** підвищення надійності суднового електроустаткування.

Тому дослідження та удосконалення системи керування електропривода буксирної лебідки з метою забезпечити стійкий рух буксирної системи, стабільний та безпечний процес буксирування суден є актуальною задачею.

Метою магістерської роботи є удосконалення системи керування електропривода буксирної лебідки. Завдання роботи полягає в тому, щоб замінити існуючу систему керування електропривода на систему з кращими технічними характеристиками, що значно покращить експлуатаційні характеристики буксирного пристрою за рахунок частотного регулювання швидкості електропривода.

Об'єкт дослідження - процеси, що відбуваються у системі керування електропривода буксирної лебідки.

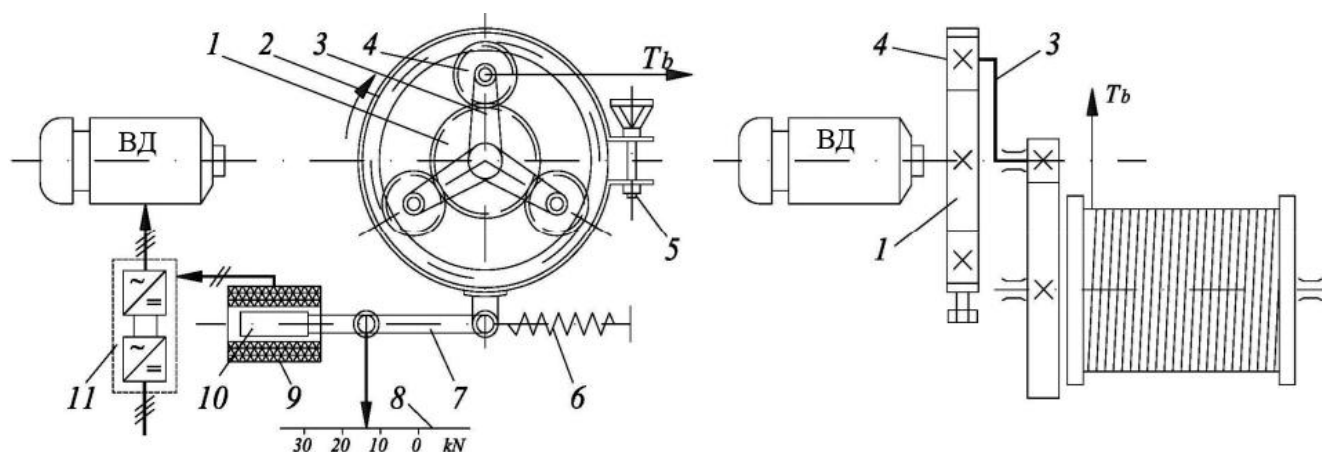
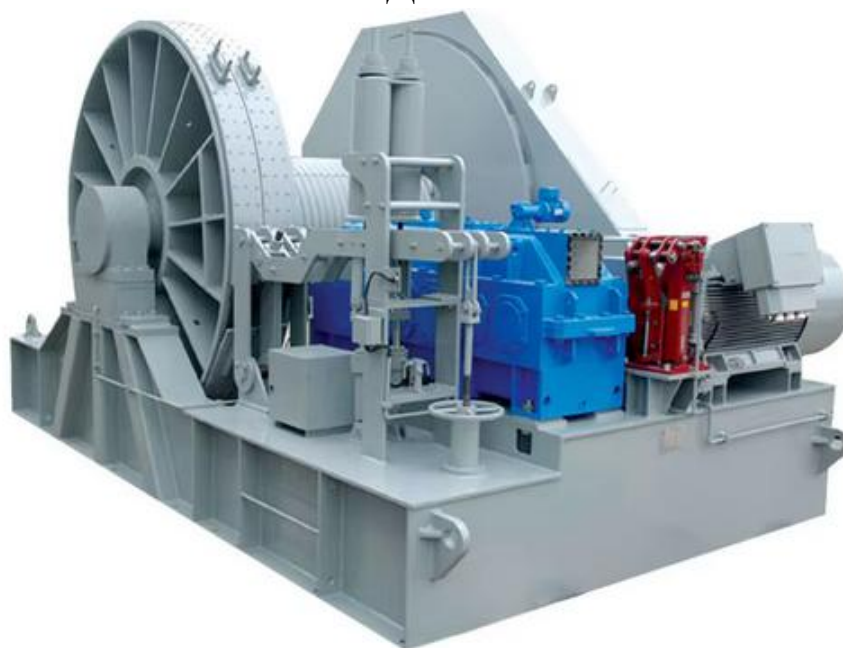
БУКСИРНИЙ ПРИСТРІЙ МОРСЬКОГО БУКСИРА



1 - буксирний клюз; 2 - буксирна арка; 3 - буксирна лебідка; 4 -
 буксирний гак; 5 - обмежувач буксирного троса; 6 - швартовний
 кнехт; 7 - вьюшка з тросом; 8 - бітєнг; 9 - буксирна дуга; 10 -
 швартовний шпиль

Слайд 3 мультимедійної презентації

АВТОМАТИЧНА БУКСИРНА ЛЕБІДКА З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ ЛЕ-38



Кінематична схема електричної буксирної лебідки, керована за допомогою частотного перетворювача

ВД - виконавчий двигун

1 - основне зубчасте колесо редуктора

2 - гальмівний зубчастий кожух

3 - водило

4 - планетарне зубчасте колесо

5 - стопор

6 - пружина вимірювального пристрою

7 - вісь

8 - показник

9 - датчик диференціального трансформатора

10 - сердечник датчика

11 - частотний перетворювач із ШІМ

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка та дослідження системи керування електропривода буксирної лебідки	
Складання індивідуального календарного плану роботи	
Пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини. Теоретичні передумови дослідження	Призначення, типи та робота буксирних пристроїв
	Системи авторегулювання автоматичних буксирних лебідок
	Опис об'єкту дослідження із зазначенням технічних параметрів
	Дані про електричне обладнання об'єкту дослідження
	Аналіз існуючих типів приводів, вибір частотного перетворювача для керування електродвигуном суднової буксирної лебідки, опис перетворювача
Опис процесу дослідження	Моделювання перехідних процесів на базі функціональної та структурної схем системи керування електропривода.
	Математичне моделювання динамічних властивостей системи керування електропривода буксирної лебідки
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	
Реалізація отриманих результатів у навчальний процес	

Слайд 6 мультимедійної презентації

ПРИНЦИПОВА ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА SIEMENS MICROMASTER 440

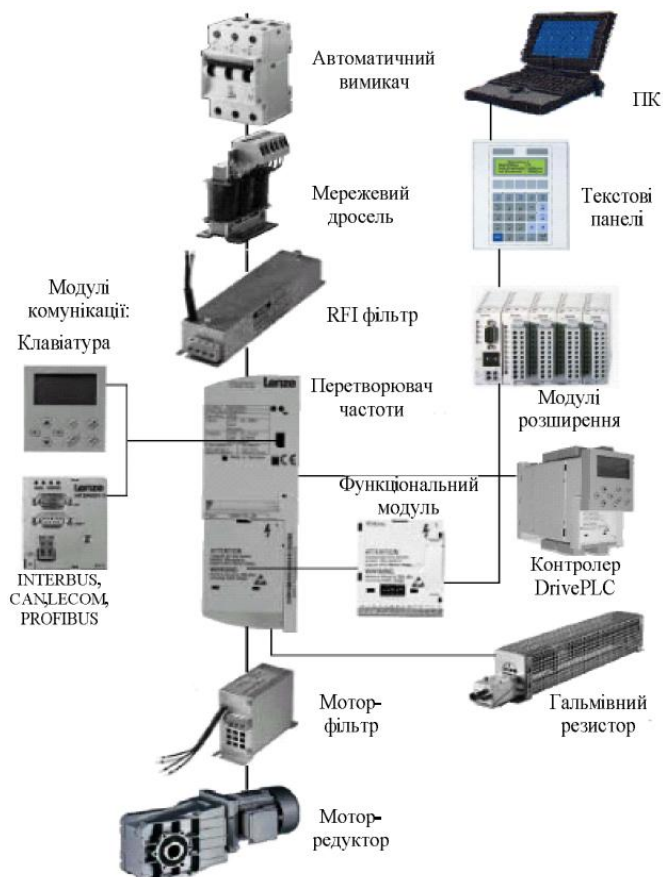
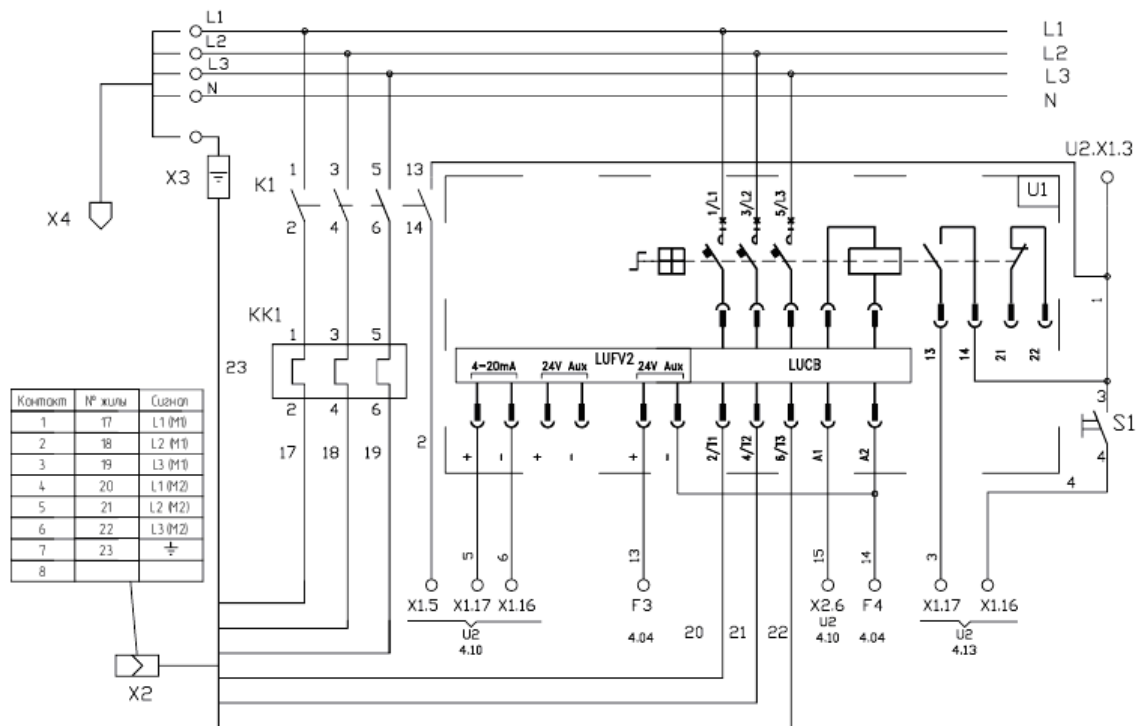
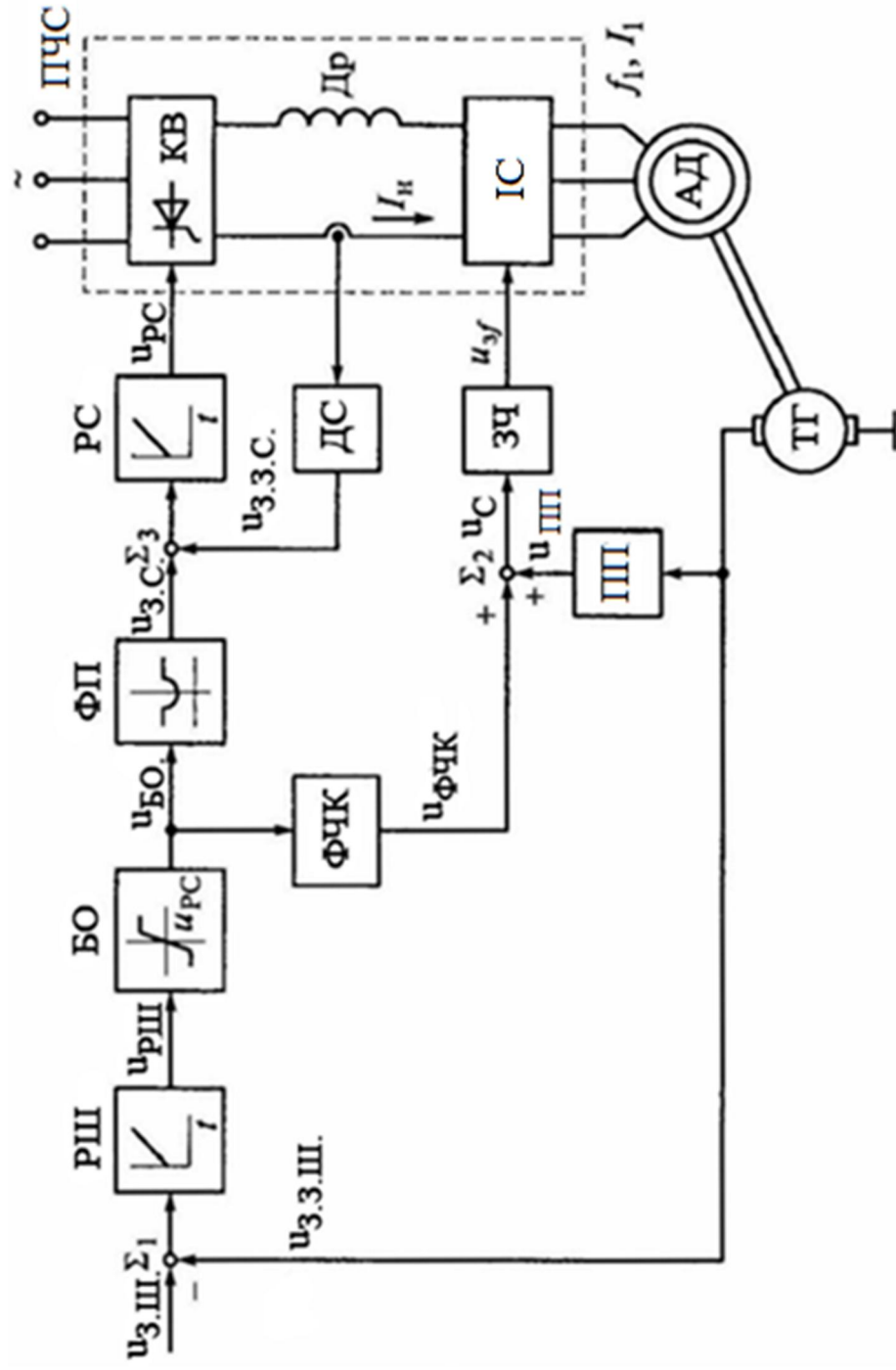


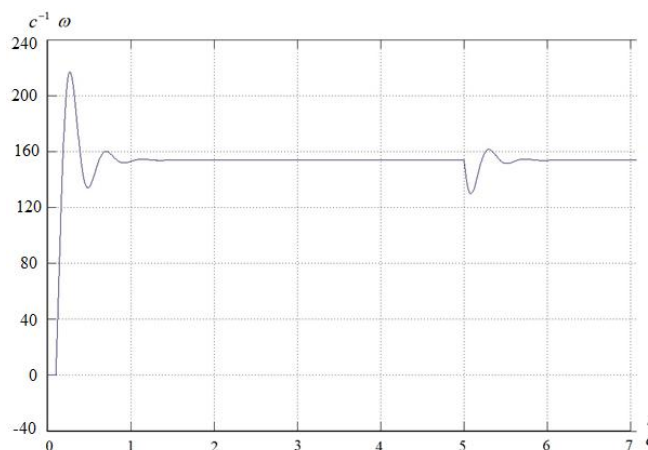
Схема можливої комплектації ПЧ (додаткове обладнання)

Слайд 7 мультимедійної презентації

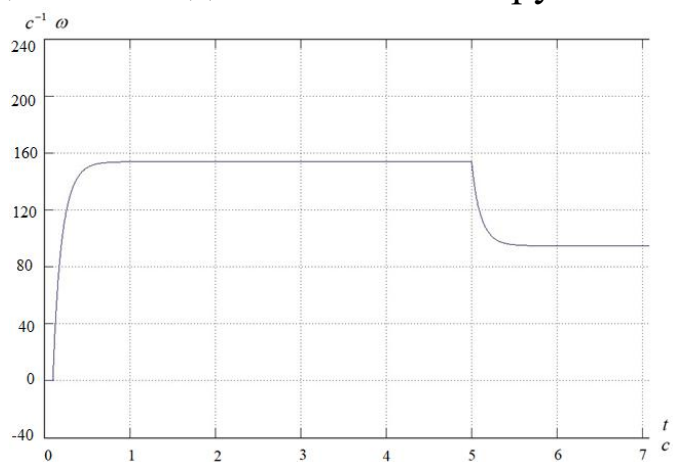
ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ЗАМКНУТОЇ СИСТЕМИ ПЧ-АД З ЧАСТОТНО-СТРУМОВИМ КЕРУВАННЯМ



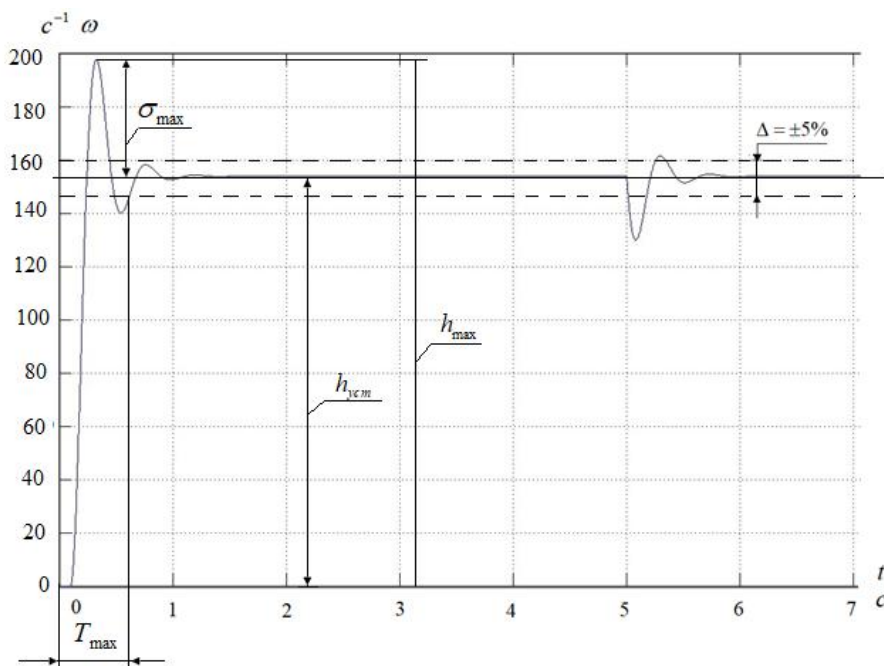
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідний процес по швидкості системи керування з ПІ-регулятором

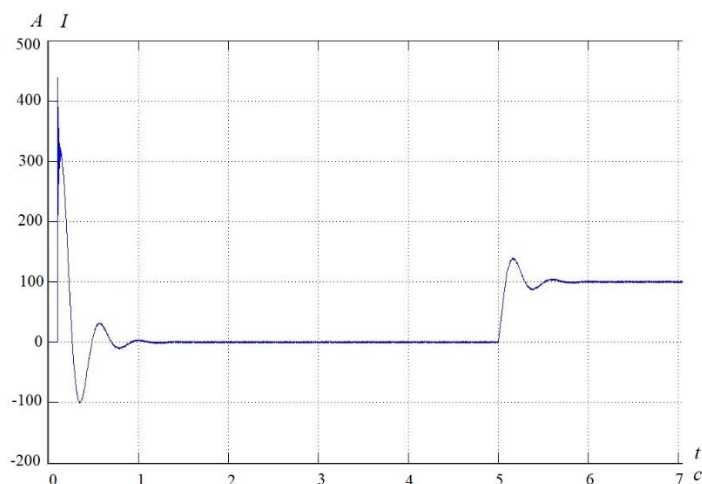


Перехідний процес по швидкості системи керування з П-регулятором

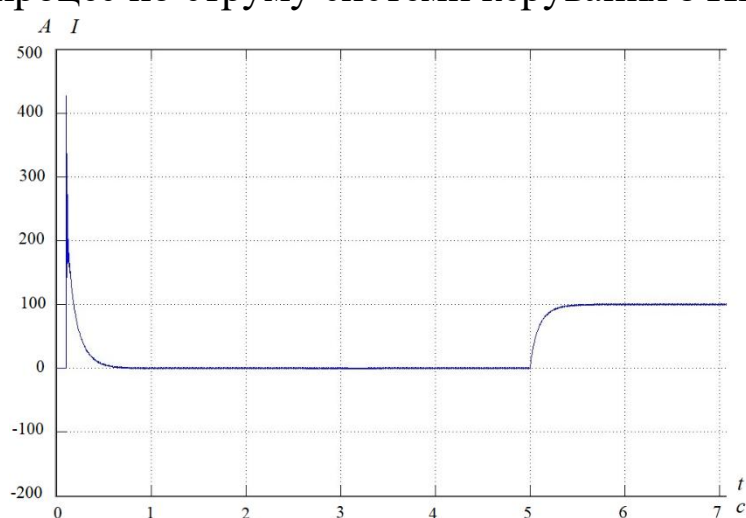


Перехідний процес по швидкості системи керування
з ПІ-регулятором та фільтром на вході
Слайд 10 мультимедійної презентації

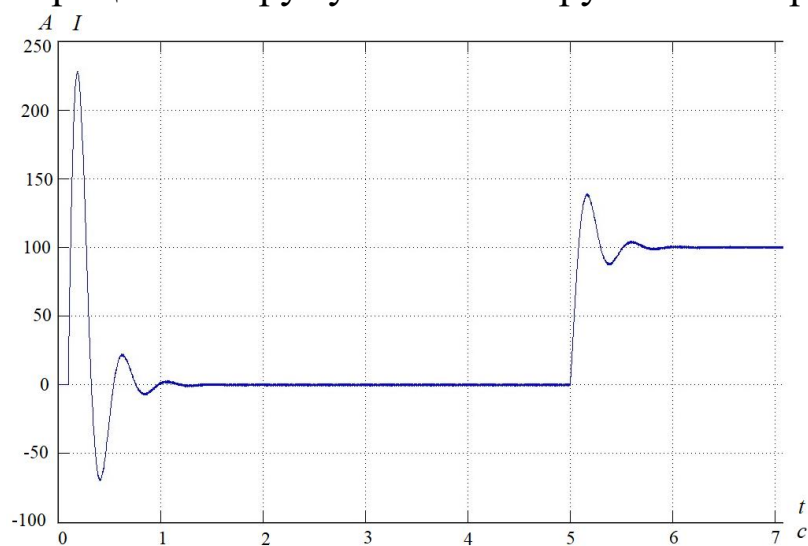
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ САК



Перехідний процес по струму системи керування з ПІ-регулятором



Перехідний процес по струму системи керування з П-регулятором



Перехідний процес по струму системи керування з ПІ-регулятором та фільтром

ВИСНОВКИ

Основні висновки по роботі можна сформулювати наступним чином:

- проведений аналіз сучасного стану перетворювальної приводної техніки та літературний огляд джерел з дослідження систем регулювання швидкості автоматизованого електропривода;

- побудована структурно-логічна схема магістерського дослідження, обґрунтовано вибір методу розрахунку задачі дослідження;

- проаналізовані існуючі системи керування двигунами автоматичних буксирних лебідок та системи керування двигунами перемінного струму. В результаті проведеного аналізу обраний частотно-струмовий спосіб керування, а для керування обраним електродвигуном вибраний сучасний комплектний електропривод Siemens MICROMASTER 440;

- розраховані параметри системи керування електропривода буксирної лебідки для наступного моделювання в математичній програмі Simulink пакету Matlab;

- наведений аналіз результатів моделювання. В результаті аналізу отриманих даних прийнята система керування із застосуванням ПІ-регулятора швидкості і фільтра на вході в систему.

Отримані результати підтверджують вирішення задач по вдосконаленню динамічних властивостей системи керування буксирою лебідки. Таким чином, основна мета роботи виконана.

В роботі проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при експлуатації електрообладнання суднових палубних механізмів, наведені заходи щодо їх усунення або зниження відповідно до нормативних вимог.

Результати кваліфікаційної роботи магістра опубліковані у Матеріалах Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Автоматика та електротехніка" 20 – 21 листопада 2024 року.