

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

(повна назва інституту/факультету)

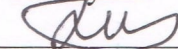
Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач

кафедри



І. С. Білюк

(підпис)

« 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

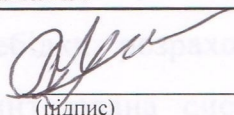
(назва освітньої програми)

на тему: «Сервоелектропривод підтримки натягнення каната»

Виконав: студент групи 6371мз

Татаренко Микола Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

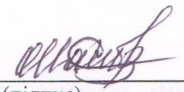

(підпис)

Керівник

доц. каф. автоматики, к.е.н.,

доц. Майборода О.В.

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

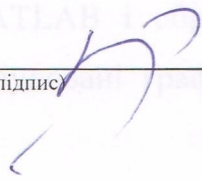

(підпис)

Рецензент

доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,

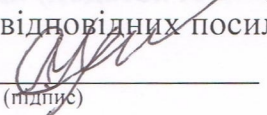
доц. Ставинський Р.А.

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


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 105с., 6 р., 34 рис., 3 табл., 1 дод., 24 джерел.

Ключові слова: тралова лебідка, механізм натягнення каната, асинхронний електропривод, скалярна система керування, векторна система керування, перехідна характеристика, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – асинхронний електропривод механізму натягнення каната тралової лебідки.

Мета роботи – поліпшити показники якості електропривода механізму натягнення каната тралової лебідки за рахунок застосування векторної системи керування асинхронним електроприводом.

Перший розділ присвячений опису системи керування електроприводом механізму натягнення каната тралової лебідки і згідно цього зроблена постановка задачі дослідження. У другому розділі наведена методологія магістерського дослідження. У третьому розділі здійснено вибір обладнання для проведення дослідження. Четвертий розділ присвячено розрахунку електропривода та електрообладнання механізму натягнення каната тралової лебідки, розрахована система автоматичного регулювання. Обґрунтована та синтезована система керування.

У п'ятому розділі на базі функціональної схеми виконано синтез системи керування електроприводом в середовищі Simulink пакету MATLAB і обрано перетворювач частоти, що задовольняє поставленій задачі. Побудовані графіки перехідних процесів.

У шостому та сьомому розділах розглянути питання з охорони праці та довкілля. Додатки містять слайди мультимедійної презентації (додаток А).

ABSTRACT

Qualification work: 105 p., 6 p., 34 figures, 3 tables, 1 appendix, 24 sources.

Key words: trawl winch, rope tensioning mechanism, asynchronous electric drive, scalar control system, vector control system, transient response, control quality indicators.

The object of study is an asynchronous electric drive of the rope tensioning mechanism of a trawl winch.

Purpose - to improve the quality indicators of the electric drive of the rope tensioning mechanism of a trawl winch by using a vector control system for an induction electric drive.

The first chapter is devoted to the description of the control system of the electric drive of the rope tensioning mechanism of the trawl winch and, accordingly, the research problem is formulated. The second section describes the methodology of the master's research. The third section describes the selection of equipment for the study. The fourth chapter is devoted to the calculation of the electric drive and electrical equipment of the rope tensioning mechanism of the trawl winch, and the automatic control system is calculated. The control system is substantiated and synthesized.

In the fifth section, based on the functional diagram, the synthesis of the electric drive control system in the Simulink environment of the MATLAB package is performed and a frequency converter is selected that meets the task. The transient graphs were constructed.

In the sixth and seventh chapters, we consider issues of labor and environmental protection.

The appendices contain slides of a multimedia presentation (Appendix A).

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРАЛОВИХ ЛЕБІДОК.....	9
1.1 Електропривод тралових лебідок, що одержують енергію від загальносуднової мережі.....	9
1.2 Електропривод тралової лебідки ЛЕТр-2-6М.....	20
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	37
2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження.....	37
2.2 Методи проведення дослідження.....	39
2.3 Методи розрахунку поставленої задачі.....	42
2.4 Висновки по розділу 2.....	44
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	46
3.1 Вибір двигуна.....	46
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	51
4.1 Загальні відомості про бездатчикові асинхронні приводи і основні проблеми, зв'язані з побудовою бездатчикового векторного електропривода.....	51
4.2 Структурна схема системи адаптивно-векторного керування асинхронним електроприводом.....	53
4.3 Синтез системи керування.....	54
4.4 Розрахунок елементів структурної схеми.....	61

4.5 Розрахунок структурної схеми у відносних одиницях.....	68
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	70
5.1 Розрахунок параметрів для моделювання системи.....	70
5.2 Аналіз чутливості електроприводу до зміни параметрів двигуна і затримок перемикачів інвертора.....	74
5.3 Побудова перехідних процесів системи	79
5.3.1 Режим «Пуск».....	79
5.3.2 Режим зміни сигналу завдання швидкості.....	80
5.3.3. Режим «Перевантаження».....	81
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	82
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	83
6.2 Розрахунок загального освітлення.....	89
6.3 Заходи безпеки та охорони праці.....	92
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	96
7.1 Забруднення навколишнього середовища	97
7.2 Заходи щодо зниження забруднення навколишнього середовища.....	98
ВИСНОВКИ.....	101
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	103

ВСТУП

Актуальність проблеми. Системи підтримки натягнення канату на суднах застосовуються в багатьох електроприводах. Це тралові лебідки, хвильові підйомники, крани та т.і.. Проте виконавчий двигун в них, як правило постійного струму завдяки хорошим його механічним характеристикам. Як правило, механічна частина на такому обладнанні знаходиться в задовільному стані, а електроніка, електроавтоматика і привід потребують реконструкції та капітального ремонту.

Модернізація цих електроприводів неминуха з причин нових вимог, що пред'являються до сучасного суднового обладнання. Збільшення точності, підвищення продуктивності, необхідність повністю автоматизувати відповідний робочий процес – без виконання цих умов надзвичайно важко витримати жорстку конкуренцію. Застарілі системи знижують продуктивність, вимагають періодичного кваліфікованого ремонту та технічного обслуговування. Крім того, виникає проблема інтеграції перелікованих систем в сучасні автоматизовані системи управління на суднах. До того ж векторна система керування асинхронними двигунами дозволяє наблизити механічні характеристики до механічних характеристик двигунів постійного струму. Важливо і те, що релейно – контактна апаратура керування електроавтоматикою на суднах за сучасними вимогами вкрай ненадійна і не забезпечує повної реалізації можливостей механічної частини механізмів підтримки натягнення канатів.

Тому метою дослідження є відпрацювання загальних положень щодо удосконалення систем керування електроприводів з керуванням натягненням на основі бездатчикового комплектного електропривода з векторною системою керування.

Мета і завдання дослідження. На основі існуючих теоретичних досліджень провести синтез бездатчикового тиристорного електропривода змінного струму тралової лебідки.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Скласти математичну модель бездатчикового асинхронного електропривода на основі мікропроцесорної системи керування.
2. Провести теоретичні дослідження, щодо поведінки електропривода з різними початковими даними.
3. Довести доцільність використання бездатчикового електропривода для тралової лебідки.

Об'єкт дослідження — процеси, які протікають в бездатчиковому електроприводі з контролем натягнення.

Предмет дослідження — показники якості, що забезпечують швидкодію та плавність протікання перехідних процесів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Виявлені закономірності зміни частотних характеристик електроприводу, які відрізняються від відомих кращими показниками якості.
2. Подальший розвиток отримав алгоритм синтезу регуляторів в бездатчиковому електроприводі.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Система керування бездатчикового електроприводу для тралової лебідки.
2. Схеми моделювання перехідних процесів у бездатчиковому електроприводі.

Випробувана методологія і схеми моделювання дозволяють покращити показники якості електропривода.

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

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, 6 розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 105 сторінках і містить 3 таблиці та 34 рисунка.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРАЛОВИХ ЛЕБІДОК

1.1 Електропривод тралових лебідок, що одержують енергію від загальносуднової мережі

Змінний характер навантаження на барабанах тралової лебідки визначає побудову її кінематичної й енергетичної схем. В енергетичному ланцюзі лебідка є проміжною ланкою між джерелом енергії (дизелем) і навантаженням (ваєрами й тралом). Різко змінний характер навантаження значно знижує термін служби трала, ваєров і негативно позначається на роботі дизелів.

Вплив коливань навантаження на роботу дизеля варто розглядати з обліком того, що в нього є автоматичний регулятор подачі палива, що прагне удержати задане значення частоти обертання. Зміна гальмового моменту на валу дизеля викликає спрацювання регулятора, і машина працює по так називаній регуляторній механічній характеристиці. На рис. 1.1 зображені кілька швидкісних характеристик дизеля, які працюють без автоматичного регулятора, і регуляторна характеристика дизеля, що працює з регулятором подачі палива. У заданому діапазоні спрацювання регулятора (ділянка АВ на кривій Д) частота обертання вала дизеля відносно постійна. Однак збільшення подачі палива в заданому діапазоні можливо лише в межах, обумовлених припустимим нагріванням деталей, тому при досягненні граничної величини подачі палива дизель починає працювати по загороджувальній (ділянка ВС) або по одній зі швидкісних характеристик. При цьому частота обертання вала нестійка, і навіть невелике перевантаження може привести до повної зупинки дизеля [1].

На робочій ділянці механічної характеристики дизеля (відрізок АВ регуляторної характеристики) частота обертання вала двигуна мало залежить від

навантаження. Граничний момент навантаження, при якому дизель ще працює стійко, будемо називати надалі критичним моментом. На рис. 1.1 критичний момент позначений $M_{\text{опр}}$. У межах від холостого ходу до критичного моменту навантаження дизель має тверду механічну характеристику [1].

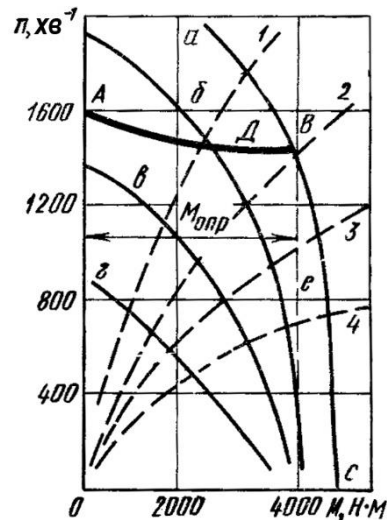


Рисунок 1.1– Характеристики дизеля, які працюють без регулятора швидкості (криві а, б, в, г) і з автоматичним регулятором (крива Д)

Як і у всякого двигуна з постійною частотою обертання вала, потужність дизеля прямо пропорційна моменту навантаження на його валу. Якби барабани лебідки були безпосередньо приєднані до вихідного вала дизеля, безперервні зміни натягу ваєров викликали б пропорційні зміни навантаження дизеля, а отже, і потужності, яку він розвиває. Щоб при більших навантаженнях дизель не зупинявся мимовільно, потужність його повинна бути така, при якій гальмовий момент навантаження на його валу при найдужчому ривку на ваєрах був би менше величини критичного моменту. Навіть якщо врахувати дію, що згладжує маховика, який гасить короточасні пікові перевантаження, потужність дизеля довелося б вибирати по навантаженнях, що перевищують максимальне значення статичної складової зусилля у ваєрах. А це значить, що більшу частину часу дизель працював би з істотним недовантаженням, а отже, з підвищеною питомою витратою палива [2].

Щоб режим роботи системи дизель - лебідка - ваєра - трал був оптимальним, лебідка повинна мати властивість згладжування (вирівнювання) навантаження, що

змінюється на ваєрах. Щоб пояснити висловлену вимогу, будемо розглядати лебідку як єдиний механізм, що включає в себе механічну частину (барабани, шестерні або черв'ячні редуктори, гальма та ін.), електропривод і передачу між електродвигуном і механічною частиною лебідки. Цей механізм розвиває на вихідних барабанах корисний обертаючий момент $M_{\text{л}}$ при частоті обертання барабанів $n_{\text{диз}}$. Для цього механізму передатним відношенням буде відношення частот обертання вихідного і вхідного валів

$$i = n_{\text{л}} / n_{\text{диз}}$$

Між гальмовим моментом на валу дизеля $M_{\text{диз}}$ і гальмовим моментом навантаження на барабані лебідки $M_{\text{л}}$, з'єднаних механізмом з передатним відношенням i , існує залежність, що випливає із закону збереження енергії,

$$M_{\text{диз}} = i M_{\text{л}} / \eta$$

де η - коефіцієнт корисної дії всього механізму, що для спрощення будемо вважати незмінним при всіх завантаженнях лебідки.

Якщо передатне відношення i залишається постійним при всіх змінах моменту навантаження $M_{\text{л}}$, то гальмовий момент на валу дизеля $M_{\text{диз}}$ буде прямо пропорційний цим змінам, тобто всі ривки навантаження без усякого зм'якшення будуть доходити до дизеля. Так було б, наприклад, якби між дизелем і барабанами лебідки був тільки зубчастий редуктор. Передача була б абсолютно прозорою для коливань навантаження.

Якщо ж створити такий механізм, що змінював би своє передатне відношення i залежно від величини моменту навантаження на барабанах лебідки $M_{\text{л}}$, тобто

$$i = f(M_{\text{л}})$$

то момент на валу дизеля $M_{\text{диз}}$ змінювався б інакше, чим момент навантаження на барабанах лебідки. За умови, що зміни моменту навантаження і передатного відношення i мають протилежні знаки, передача робиться менш прозорою, і коливання моменту на виході лебідки доходять до дизеля в зм'якшеному виді. В ідеальному випадку, коли між передатним відношенням i і моментом $M_{\text{л}}$ у всьому діапазоні можливих навантажень забезпечувалася б обернена пропорційність

$i=A/M_{л}$, де A -постійна величина, то передача була б абсолютно непрозорою і при будь-яких коливаннях навантаження лебідки дизель працював би з постійним моментом $M_{диз}$. Потужність дизеля при цьому залишалася б незмінною незалежно від зміни зусиль у ваєрах. Сталість потужності тралової лебідки при всіх змінах навантаження на її барабанах не тільки забезпечила б дизелю під час вибирання ваєров досить вигідний режим роботи, але й дозволила б довести середню потужність лебідки до номінальної потужності дизеля. Отже, така лебідка мала би найвищу можливу продуктивність при заданій потужності дизеля, а дизель, що працює з незмінним, близьким до номінального навантаження використовувався б в економічно най-більш доцільному режимі. Настільки ж економічно вигідний і технічно доцільний режим сталості потужності для роботи промозброєння. Потужність, затрачувана траловою лебідкою на переміщення трала і вибірку ваєров під час підйому улова:

$$N = F_{ст} \cdot V_{в},$$

де $V_{в}$ - швидкість вибірки ваєров.

Цю формулу можна перетворити так:

$$N = \sqrt{(k \cdot S_{тр} \cdot V_{тр}^n)^2 + ((2Q)^2 + 2ph) \cdot V_{в}}.$$

Отриманий вираз вказує на високий ступінь залежності потужності від швидкості руху трала й відповідно від швидкості вибірки ваєров.

Розглядаючи питання про роботу лебідки в процесі підйому трала, потрібно брати до уваги, що вся система лебідка - ваєра - трал діє в режимі автоматичного регулювання, здійснюваного через електропривод. Коли лебідка вибирає ваєра, на систему діють різні збурювання: змінюються плечі додатка сил тяги на ваєрах при намотуванні останніх на барабани, зменшуються довжина й вага ваєров за бортом судна, змінюються кути між напрямками руху судна й ваєров. Ці збурювання прагнуть змінити режим роботи електропривода, а система автоматичного регулювання (САР) електропривода протидіє змінам режиму. Якщо САР (незалежно від того, по якому принципу вона діє) підтримує потужність лебідки постійною, то незмінною буде і потужність, затрачувана на переміщення трала. Отже, зміна одних

параметрів, що визначають цю потужність, автоматично буде компенсуватися змінами інших параметрів. Наприклад, зменшення ваги ваєров за бортом судна буде компенсовано відповідним збільшенням агрегатного опору руху трала, що зажадає невеликого прискорення його руху. Збільшення радіусів намотування ваєров на барабани буде компенсовано відповідним зменшенням частоти обертання барабанів. При цьому САР електропривода одержує керуючий вхідний сигнал у вигляді відхилення моменту навантаження при регулюванні «по збурюванню» або відхилення потужності при регулюванні «по відхиленню». При роботі лебідки з незмінною потужністю добуток зусилля $F_{ст}$ на швидкість вибірки ваєров V_v також залишається постійним. Якщо врахувати, що між зусиллям $F_{ст}$ і швидкістю руху трала у воді залежність хоч і нелінійна, але пряма, можна зробити висновок про те, що при постійній потужності забезпечуються також малі зміни зусиль у ваєрах і швидкості руху трала щодо води. Різні машини зручно характеризувати механічними характеристиками. Оскільки механічною характеристикою двигуна або механізму, постаченого приводом, називають залежність частоти обертання його вихідного вала від прикладеного до нього гальмового навантаження, механічною характеристикою ваєрної (або тралової) лебідки будемо називати залежність частоти обертання барабанів від прикладеного до них гальмового моменту. Іноді під механічною характеристикою лебідки мають на увазі механічну характеристику її електропривода, тобто залежність частоти обертання приводного вала електродвигуна лебідки від прикладеного до нього гальмового моменту. Тому що барабани лебідки пов'язані з електродвигуном редуктора з постійним передатним відношенням, обидва варіанти механічних характеристик однотипні. Вони розрізняються лише масштабами, у яких відкладені по осях значення частоти обертання й обертаючих моментів.

Механічна характеристика лебідки, потужність якої зберігається постійною при всіх значеннях моменту навантаження, має форму гіперболи. Це впливає з того, що механічна потужність лебідки пропорційна добутку моменту $M_{л}$ на частоту обертання $n_{л}$, тобто $N_{л} = c M_{л} n_{л}$, а умовою незмінності потужності є сталість добутку

$M_{лл}$. Однак чисто гіперболічну характеристику не можна вважати повністю задовільняючою всім вимогам експлуатації, навіть якщо розглядати роботу лебідки тільки під час вибірки ваєров [3]. При підйомі трала можливі режими, при яких гальмовий момент на барабані лебідки зростає до значення, небезпечного для цілості ваєров і деталей самої лебідки (наприклад, при задіві трала за ґрунт). Необхідно, щоб при досягненні моментом навантаження гранично припустимої величини $M_{л}$ барабани лебідки залишалися або навіть починали стравлювати ваєра при моменті навантаження, незначно перевищуючому $M_{л}$. Цій вимозі відповідає характеристика, зображена на рис. 1.3. У такої характеристики гіпербола переривається ділянкою bc , що задає відсічення по гранично припустимому моменту. Ця характеристика передбачає також відсічення по гранично припустимій частоті обертання (ділянка ad), що необхідно для запобігання електродвигуна лебідки від можливого розносу при найменших навантаженнях і холостому ході.

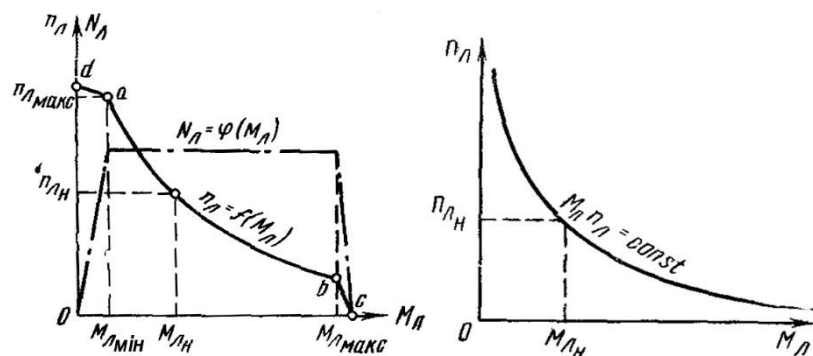


Рисунок 1.2— Оптимальна механічна характеристика тралової (ваєрної) лебідки, що працює в режимі підйому трала

Рисунок 1.3—Механічна характеристика лебідки, потужність якої не змінюється при змінах гальмового моменту навантаження на її барабанах

Отже, оптимальна механічна характеристика лебідки при підйомі трала повинна бути гіперболічною в області від середніх значень робочих навантажень до припустимих перевантажень і бути обмеженою за граничним значенням частоти обертання двигуна і гранично припустимому моменті на барабанах лебідки.

Ця вимога здобуває особливу важливість тільки в тому випадку, коли лебідка призначена для забезпечення операцій пелагічного тралового лову, особливо його

придонного варіанта. Справа в тому, що при донному лові зменшення швидкості руху трала у воді може викликати його посадку на ґрунт, внаслідок чого трал буде порваний, а улов загублений. Тому підйом трала найкраще починати, не знижуючи швидкості руху судна. Щоб підібрати ваєра й підняти трал у більш віддалені від ґрунту шари води, лебідка повинна розвивати зусилля у ваєрах трохи більші, ніж при траленні. Лише після того, як трал здійметься від дна, можна сповільнювати хід судна і за рахунок цього прискорювати вибірку ваєров. Чим більшою перевантажувальною здатністю по моменту на барабанах володіє лебідка, тим зручніше і краще виконувати початковий етап підйому пелагічного трала [4].

Зі сказаного ясно, що забезпечити більшу перевантажувальну здатність по моменту, не збільшуючи споживаної потужності, може лише лебідка з м'якою механічною характеристикою, в ідеальному варіанті - з гіперболічною. У зв'язку з тим, що забезпечити гіперболічну форму механічної характеристики в дуже широкому діапазоні навантажень важко, можна для початкових операцій підйому трала передбачити у лебідки можливість уповільнення частоти обертання барабанів за допомогою додаткового шестерного редуктора.

Спускають трал на ходу судна, що йде зі швидкістю 1.5-3.5 м/с (3-7 уз). Робота травлення ваєров виробляється головним двигуном судна. Тралова лебідка в режимі травлення ваєров працює як приймач енергії, чим більше швидкість травлення ваєров і гальмове зусилля лебідки.

Під час спуска трала барабани лебідки пригальмовуються для того, щоб забезпечувався натяг ваєров, достатній для горизонтального розведення дошок. Недостатній натяг ваєров може привести до заверту трала. Якщо гальмове зусилля на барабанах лебідки створює тягу ваєров, достатнє для буксирування трала зі швидкістю 0.75-1.25 м/с (1.5-2.5 уз), то вся система трала і його оснащення займуть у воді правильне робоче положення. Тому, якою би не була швидкість руху судна, швидкість травлення ваєров повинна бути менше цієї швидкості на 0.75-1.25 м/с.

Зі сказаного вище впливає головна вимога до лебідки, що працює в режимі травлення ваєров: необхідно, щоб гальмове зусилля, що розвивається лебідкою

протягом усього часу травлення ваєров було достатнім для буксирування трала з оснащенням за судном зі швидкістю, що забезпечує нормальну розбіжність дошок і робоче розташування всієї системи у воді. Це зусилля повинно мало змінюватися у відносно широкому діапазоні можливих швидкостей травлення ваєров. Крім того, досить важливо, щоб величина потужності гальмування, одержувана лебідкою, не перевищувала величини, що може безпечно для себе поглинути або розсіяти лебідка.

Ще одна вимога ставиться до швидкості травлення ваєров. Для скорочення часу спуска трала ця швидкість повинна бути якнайбільша. Динамічні зусилля, що виникають у якорі електродвигуна лебідки і в інших її деталях не повинні перевищувати припустимих значень. Звичайно найбільш чутливий до перевантажень по частоті обертання якір електродвигуна, для якого гранична частота обертання обмовляється в паспортних даних.

Таким чином, обмеження швидкості травлення ваєров може диктуватися як перевантаженням лебідки потужністю гальмування, так і граничними безпечними значеннями частоти обертання якоря приводного електродвигуна або інших обертювих деталей, обумовленими їхньою міцністю. Якби якір електродвигуна та всі деталі, що рухаються, мали необмежений запас міцності, гранична швидкість травлення ваєров визначалася б тільки величиною потужності гальмування, що може прийняти й розсіяти механізм лебідки. Ця величина в першу чергу залежить від прийнятої схеми енергетичної установки судна. На судах, де лебідка одержує енергію від валогенератора або від загальносуднової енергетичної установки, величина рекуперуємої потужності обмежується тільки міцністю самої слабкої ланки енергетичного ланцюга. Звичайно такою ланкою буває редуктор, що зв'язує гребний вал з генератором або комутаційні пристрої (колектор, щітки) машин електропередачі. На судах з роздільними енергетичними установками, де тралова лебідка одержує енергію від окремого дизель-генератора, величина гальмової потужності обмежується енергоємністю дизель-електричного агрегату лебідки.

Частина рекуперуємої потужності приймає дизель, але, як правило, потужність, що він може прийняти безпечно для себе, не перевищує 10-20% його

номінальної потужності. Оскільки потужність гальмування звичайно перевищує цю величину, у тралових лебідок передбачаються спеціальні приймачі енергії гальмування - у найпростішому виді це стрічкові гальма з ручним управлінням. У більш потужніших лебідок для цієї мети в електричну схему вводять спеціальні опори динамічного гальмування.

Механічна характеристика тралової лебідки в режимі травлення ваєров в оптимальному варіанті повинна була б мати форму, близьку до кривої, показаної на рис. 1.4,а. Відповідно до цієї характеристики травлення ваєров у гальмовому режимі можливе тільки в тому випадку, якщо зусилля натягу ваєров створює на барабанах лебідки момент, не менший $M_{\text{лмін}}$. Цим гарантуються достатнє розкриття трала й правильна розбіжність тралових дошок.

У нормальному режимі травлення ваєров лебідка повинна працювати на ділянці механічної характеристики ab . Положення на відрізку ab точки, що визначає режим роботи лебідки, залежить від швидкості, заданої судну. Чим більше швидкість руху судна, тим більшою буде й швидкість травлення ваєров. Потужність, що повинна поглинути лебідка, росте зі збільшенням швидкості травлення ваєров.

Підвищення швидкості травлення ваєров і рекуперуємої потужності припустимо лише до певних значень, що залежать від конструкції лебідки. Якщо потужність гальмування досягне граничної величини, подальше її підвищення повинно бути припинене. Лебідка повинна перейти на роботу з постійною потужністю, що задається ділянкою bc оптимальної механічної характеристики, що супроводжується збільшенням гальмового моменту й зниженням швидкості травлення ваєров.

Таким чином, у прикордонній точці b повинен змінюватися закон регулювання, що визначає форму механічної характеристики.

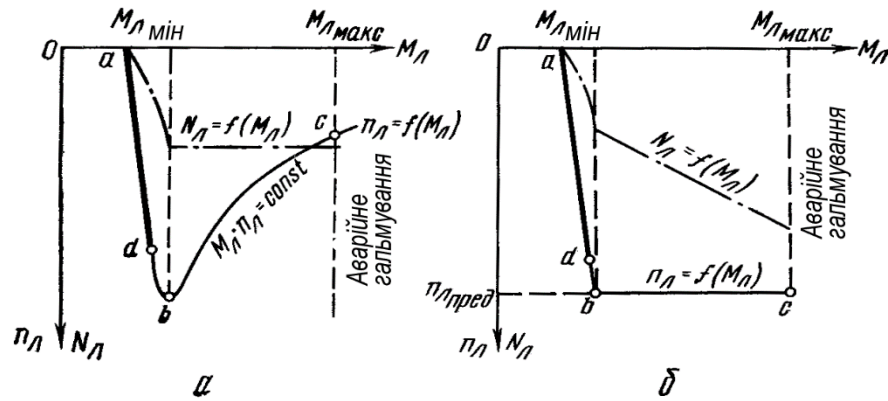


Рисунок 1.4– Оптимальні механічні характеристики тралової (ваєрної) лебідки, що працює в режимі гальмового спуску трала, і залежність гальмової потужності лебідки від величини моменту навантаження на її валу:

а – для варіанта обмеження швидкості травлення ваєров граничним значенням потужності гальмування, що може прийняти лебідка; б – для варіанта обмеження швидкості травлення ваєров гранично припустимою частотою обертання найбільш слабкої ланки лебідки.

При ручному гальмуванні аналогічний ефект досягається затягуванням стрічкових гальм, що робиться в тих випадках, коли вони починають перегріватися від тертя при зайвій швидкості травлення ваєров. Робота лебідки на ділянці *bc* механічної характеристики не вигідна і може бути виправдана тільки як захисний захід, тобто як аварійний режим, коли судно йде з надмірною швидкістю. Якщо навантаження досягає величини $M_{\text{л макс}}$, небезпечної для цілості лебідки або ваєров (крапка *c* на механічній характеристиці), повинні відбутися повне загальмовування барабанів, включення сигналу аварії, і швидкість судна повинна бути відповідно знижена.

Якщо величина швидкості травлення ваєров повинна бути обмежена через недостатню механічну міцність деталей, які можуть бути ушкоджені динамічними зусиллями, а не граничною величиною рекуперуємої потужності, оптимальна механічна характеристика лебідки, що працює у бік «травити», приймає вид, зображений на рис. 1.4, б. Як і у попередньому випадку, робочою частиною характеристики є відрізок *ab*, на якому гальмовий момент дорівнює або трохи перевищує мінімальну необхідну величину $M_{\text{лмін}}$, достатню для додання трала з

оснащенням правильного положення у воді. Ця ділянка характеристики повинна бути досить м'якою, тобто незначне перевищення моментом граничного значення $M_{\text{лмін}}$ повинно викликати велике збільшення швидкості. Після досягнення лебідкою заданого значення максимальної швидкості вона повинна працювати по можливо більш твердій характеристиці (ділянка bc). При цьому зростання моменту на барабанах лебідки майже не повинне збільшувати швидкість травлення ваєров. При збільшенні моменту на барабанах лебідки до величини $M_{\text{лмакс}}$, небезпечної для цілості деталей лебідки (крапка c), відбувається аварійне загальмовування, як і у попередньому випадку [4].

Таким чином, якщо механізм лебідки може приймати й розсіювати тільки обмежену потужність, а міцність деталей дозволяє розвивати досить більші швидкості, бажано, щоб лебідка мала механічну характеристику, подібну зображеної на рис. 1.4,а. Якщо потужність, що може прийняти під час гальмування лебідка, не обмежена й гранична швидкість травлення ваєров визначається динамічною міцністю якоря електродвигуна й обертових деталей лебідки, бажано, щоб убік «травити» лебідка мала механічну характеристику, подібну зображеної на рис. 1.4, б.

Промислові суда нових серій, що надходять на промисловий флот після 1960 року, обладнані електростанціями на змінному струмі. В електроприводах тралових лебідок більшості таких судів використовується схема генератор-двигун (Г-Д) постійного струму. Особливістю цих схем є застосування асинхронного двигуна в якості приводного для генератора. На деяких судах замість електромашинних перетворювачів змінно-постійного струму встановлені статичні перетворювачі на керованих вентилях.

Використання асинхронних двигунів безпосередньо для привода барабанів тралових лебідок не практикується через різкозмінний характер навантаження й особливостей пускових, регулювальних і реверсивних характеристик цих двигунів. Схема Г-Д постійного струму істотно поліпшує названі характеристики лебідки. Особливістю енергетичного режиму при живленні електропривода лебідки від

загальносуднової мережі є розподіл коливань навантаження лебідки між декількома працюючими генераторами. Приводні двигуни (дизелі) генераторів працюють в умовах менших змін навантаження, викликаних роботою тралової лебідки, чим це було в системах з індивідуальним дизель-генератором для лебідки. Сказане ставиться не тільки до режиму «вибирати», але й до режиму рекуперативного гальмування лебідки при травленні ваєров для спуска трала.

1.2 Електропривод тралової лебідки ЛЕТр-2-6М

Тралові лебідки типу ЛЕТр-2-6М призначені для рибальських судів із пропульсивними установками середньої потужності. Вони використовуються на деяких БМРТ типу «Маяковський», на СРТМ.

Лебідка електрична, двобарабанна, із двома турачками для вантажних робіт і двома допоміжними барабанами для роботи з витяжними кінцями.

Характеристика лебідки

Номінальне сумарне тягове зусилля на верхньому шарі навівки ваєра, кН	140 (2*70)
Максимальне тягове зусилля на ваєрних барабанах при відповідному зниженні швидкості	160
Швидкості вибірки, м/с	
Ваєров при середньому тяговому зусиллі 140 кН на дев'ятому розрахунковому шарі навівки	1.2
на турачці при тяговому зусиллі 100 кН	0.8
на додатковому барабані на середньому шарі навівки при тяговому зусиллі 100 кН	0.8
Швидкість травлення ваєров електроприводом на середньому шарі навівки, не менш, м/с	2.0
Канатоемність барабанів, м ваєрного (ваєра діаметром 26.5 мм)	3000

допоміжного (канат діаметром 24 мм)	100
Маса лебідки, кг	
механічні частини	21010
механічні частини з електроприводом	24040
механічні частини з повним комплектом електрообладнання	30360

Лебідка обладнана гідравлічною системою управління гальмами ваєрних барабанів. Управління муфтами включення барабанів і гальмами ручне. Є також електрогідравлічний пристрій для автоматичного аварійного розгальмовування ваєрних барабанів під час тралення у випадку різкого зростання навантажень на ваєрах, що охороняє ваєра від обриву при задіві трала за ґрунт. Цей пристрій може бути включений в роботу, якщо електропривод лебідки відключений, а муфти, що з'єднують барабани з робочим валом, установлені в нейтральне положення. Система настраюється на спрацьовування при натягу на ваєрі, рівному 100-130 кН. При спрацьовуванні пристрою, що розгальмовує, у рубці включається світлова й звукова сигналізація [5].

Електропривод тралової лебідки ЛЕТр-2-6М, виконаний за дуплексною схемою генератор-двигун (ДГ-Д), що складається із двох головних виконавчих електродвигунів 1М і 2М і двох головних генераторів 1G і 2G постійного струму. Якоря обох електродвигунів жорстко з'єднані один з одним через головний вал лебідки, і в нормальному режимі двигуни управляються й працюють спільно як єдиний двоякірний двигун. У випадку аварії одного з електродвигунів лебідка зберігає обмежену працездатність, тому що передбачається можливість привода її й одним електродвигуном. Головні генератори схеми ДГ-Д приводяться в обертання кожний своїм асинхронним двигуном 1ПД і 2ПД. Генератор і його приводний асинхронний двигун змонтовані на загальній фундаментній рамі й утворюють головний перетворювальний агрегат. Таких агрегатів у складі лебідки два. Крім того, є ще два малопотужних електромашинних перетворювальних агрегати. Один з них призначений для живлення обмоток незалежного збудження головних

генераторів і складається з електромашинного підсилювача ЕМП й приводного асинхронного електродвигуна ПДЕ, інший, що складається з генератора постійного струму й приводного асинхронного двигуна ПДВ, живить обмотки незалежного збудження головних електродвигунів, котушки електромагнітних гальм, а також ланцюги схеми управління електроприводами.

До складу електрообладнання лебідки ЛЕТр-2-6М входять: два електродвигуни постійного струму типу ДПМ-62Т 30-хвилинною потужністю 85 кВт із номінальною частотою обертання 15.83 с^{-1} (950 хв^{-1}) і номінальною напругою на якорі 220 В. Збудження двигунів паралельне без стабілізуючої серієсної обмотки. Напруга на обмотці збудження 110 В в номінальному режимі. Двигуни обладнані прибудованими дисковими електромагнітними гальмами типу ТДП-6Т, що забезпечують гальмові моменти 1000 Нм (60 хв). Напруга спрацьовування котушки гальма 80 В; два головних перетворювальних агрегати, що складаються із приводних асинхронних двигунів типу АМ 112-4 тривалою потужністю по 135 кВт при частоті обертання 24.5 с^{-1} (1470 хв^{-1}) з номінальною напругою 380 В (з'єднання обмотка-трикутник), і головних генераторів постійного струму типу П111-М. Потужність кожного генератора становить 110/135 кВт (тривалий режим) при робочій напрузі 220/320 В і частоті обертання 24 с^{-1} (1440 хв^{-1}). Збудження незалежне. Номінальна напруга збудження 115 В. Обмотки генераторів мають ізоляцію класу Н, що дозволяє їм витримувати короточасні (до 30 с) струмові перевантаження до 1000 А, що можуть виникнути при аварійних зупинках лебідки внаслідок перевантаження; електромашинний підсилювач типу ЕМП-50А3 із комплектом обмоток збудження 1БД592.007-10 (чотири обмотки). Електромашинний підсилювач приводиться в обертання убудованим асинхронним електродвигуном (380/220 В). Потужність підсилювача 4 кВт при номінальній напрузі 230 В, струмі 17.4 А, частоті обертання 50 с^{-1} (3000 хв^{-1}); малопотужний електромашинний перетворювач, що складається із приводного асинхронного електродвигуна типу АМ61-4 потужністю 8 кВт при напрузі 380 В і частоті обертання 23.67 с^{-1} (1420 хв^{-1}), і генератора-збудника типу П51М потужністю 6 кВт

при напрузі 230 В і частоті обертання 23.67 с^{-1} ; дві станції управління типу ПМХ-5309-43БЗ для пуску й зупинки асинхронних електродвигунів перетворювальних агрегатів. Станції забезпечують пуск агрегатів вхолосту способом перемикавання із зірки на трикутник. Теплові реле типу ТРТ-150 у станціях регулюються на струм спрацьовування 300 А; два магнітних пускачі типу ПММ-1111-1 для включення й зупинки малопотужних перетворювачів. В обох пускачах передбачений захист за допомогою теплових реле. У пускачі для електромашинного підсилювача встановлені реле типу ТРТ-131 з уставкой 11.3 А. У пускачі перетворювача-збудника з генератором П51М стоять реле типу ТРТ-132 з уставкой 17.2 А; два силових понижуючих трансформатора типу ОСВ 0.5/0.5 з номінальними напругами 400, 133 й 115 В (для живлень тимчасовим струмом ланцюгів управління); два сельсинних командоконтролера БКК на сельсинах типу БД501А с контактними блоками БКМ. Сельсинні командоконтролери забезпечують плавне безступінчасте регулювання швидкості лебідки з одного із двох постів -основного або місцевого; асинхронний електродвигун типу АОМ32-4 потужністю 1.5 кВт при напрузі 380 В і частоті обертання 23.17 с^{-1} (1390 хв^{-1}) з магнітним пускачем типу ПММ-1111-1.

Електродвигун призначений для привода насоса гідравлічної системи управління гальмами й муфтами лебідки; два щити управління, на яких змонтовані реле, контактори, запобіжники, кнопки управління, сигнальні лампи, пакетні переми-качі, резистори, магнітні підсилювачі, напівпровідникові діоди; два сигнальних щитки із кнопками аварійного відключення АТ1, АТ2, «Стоп 1» і «Стоп 2» і сигнальними лампами 1ЛГ-4ЛГ, що сповіщають про включення гідравлічної системи та електропривода; регулятори збудження, ящики резисторів різних типів, вимірювальні прилади.

Принцип дії схеми управління і автоматичного регулювання лебідки наступний. Електропривод лебідки (рис. 1.5) виконаний за схемою Г-Д з управлінням (ручним і автоматичним) тільки шляхом впливу на магнітні потоки головних генераторів $G1$ і $G2$. Обидва генератори відрегульовані так, що їхні зовнішні характеристики однакові. Генератори приводяться в обертання

асинхронними електродвигунами М3 і М4, що мають тверди механічні характеристики. Тому частоти обертання генераторів практично постійні й однакові. У кожного з генераторів є лише одна обмотка збудження (незалежна) НОГ1 і НОГ2. Ці обмотки включені послідовно, тому струм збудження генераторів однаковий. Як би не змінювалася величина того струму в процесі регулювання лебідки, ампер-витки збудження обох головних генераторів завжди залишаються рівними, навантаження розділяється між перетворювальними агрегатами А1 і А2 нарівно. Цьому ж сприяє й послідовне включення генераторів. Таким чином, обидва генератори працюють у статично й динамічно зрівняних режимах і можуть розглядатися як єдина електрична машина, що розвиває вдвічі більшу напругу, чим кожний з генераторів окремо [4].

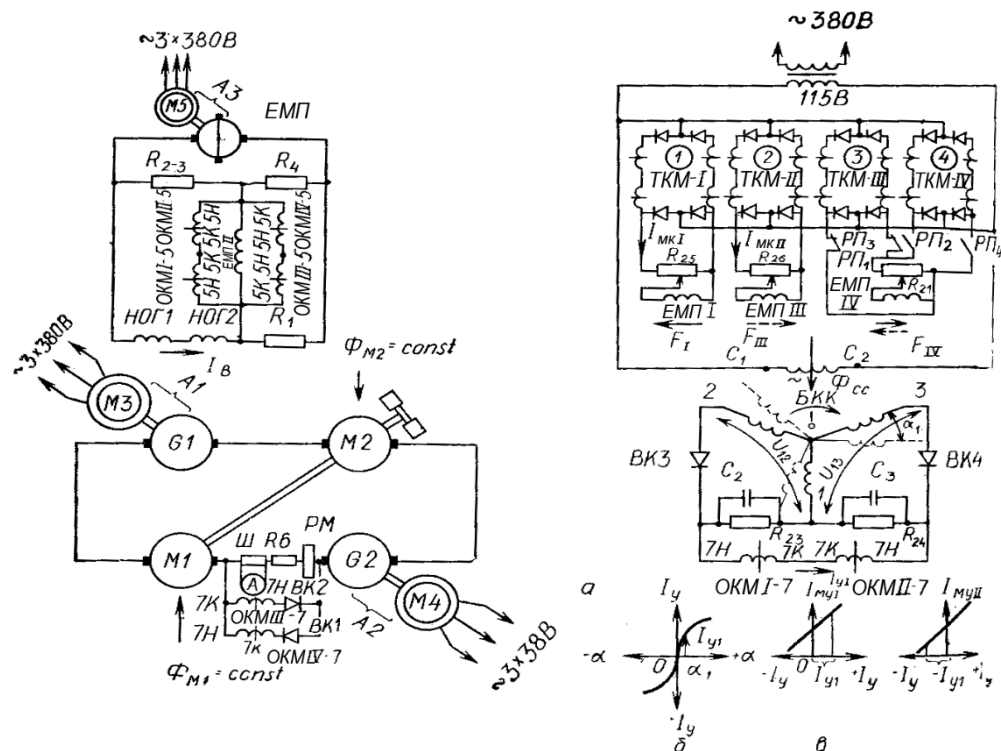


Рисунок 1.5– Функціональна схема електропривода лебідки типу ЛЕТр-2-6М і характеристики системи управління

Твердий механічний зв'язок якорів головних електродвигунів М1 і М2 через редуктор і робочий вал лебідки, однаковість і сталість магнітних потоків двигунів забезпечують рівний розподіл між ними статичних і динамічних навантажень. Завдяки цьому два виконавчих електродвигуни лебідки діють як одна двоякірна

машина. Отже, дуплексний електропривод тралової лебідки ЛЕТр-2-6М можна розглядати як звичайну двухмашинну схему Г-Д, керовану тільки по магнітному потоці генератора.

Особливості схеми управління лебідки ЛЕТр-2-6М полягають у тім, що в ній застосований безконтактний сельсинний датчик швидкості лебідки БКК і двокаскадний підсилювач керуючих сигналів. Перший каскад підсилювача зібраний на магнітних підсилювачах ТКМ-1 і ТКМ-11, другий каскад - на електромашинному підсилювачі ЕМП. Сельсин-задатчик БКК працює в режимі поворотного трансформатора. Однофазна обмотка C_1 - C_2 його статора живиться від мережі змінним струмом і створює нерухоме пульсуюче поле Φ_{cc} . Це поле індуктує в обмотках трьох фаз ротора е. р. с, величини й фази яких залежать від кута повороту ротора. Головні керуючі обмотки першого і другого магнітних підсилювачів підключені до ротора сельсина так, що по них іде струм, пропорційний різниці випрямлених лінійних напруг ротора сельсина U_{12} і U_{13} . Якщо ротор сельсина встановлений так, як зазначено на рис. 1.5,а, суцільними лініями, тобто так, щоб вісь обмотки фази 01 збігалася з напрямком магнітного потоку ротора, напруги U_{12} і U_{13} рівні і струм управління I_n в обмотках ОКМ-1-7 й ОКМ-11-7 відсутній. При цьому по робочих обмотках магнітних підсилювачів ТКМ-1 і ТКМ-11 йдуть струми однакової сили. Однакові й струми в керуючих обмотках ЕМП1 і ЕМП111 електромашинного підсилювача ЕМП. Останні включені так, що їхні намагнічуючі сили F_1 і F_2 спрямовані назустріч одна одній. Тому результуюча намагнічуюча сила ЕМП $F = F_1 - F_2$ дорівнює нулю. Відповідно дорівнює нулю і напруга на вихідних контактах ЕМП, і відсутній струм в обмотках збудження НОГ1 і НОГ2 головних генераторів $G1$ і $G2$ електропривода тралової лебідки. Електрорушійна сила генераторів при цьому дорівнює нулю, і двигуни лебідки $M1$ і $M2$ не обертаються. Поворот ротора сельсина-задатчика на деякий кут (α_1 на рис. 1.5) щодо нейтрального положення викликає порушення рівності напруг U_{12} і U_{13} . У цьому випадку по керуючих обмотках ОРОЗКМ1-7 й ОКМ11-7 піде струм I_{n1} . Залежність струму I_n від кута повороту ротора сельсина-задатчика показана на рис. 1.5, б. Як

видно з рисунка, позитивним, кутам повороту ротора відпо-відають струми одного напрямку, поворот ротора в іншу сторону від нейтрального положення викликає в обмотках управління магнітних підсилювачів 1 і 2 струми протилежного напрямку. Обмотки управління ОРОЗКМ1-7 й ОКМ11-7 включені зустрічно так, що струм управління збільшує робочий струм одного магнітного підсилювача й одночасно зменшує робочий струм іншого підсилювача. На рис. 1.5, в 1.5, г показано, як струм $I_{п1}$ позитивний для ТКМ-1 і негативний для ТКМ-11, збільшує робочий струм першого магнітного підсилювача $I_{мп1}$ і зменшує робочий струм другого магнітного підсилювача $I_{мп11}$. Це викликає збільшення намагнічуючої сили F_1 обмотки ЕМП1 і зменшення намагнічуючої сили F_{111} обмотки ЕМП111. Переважні ампер-витки обмотки ЕМП1 викличуть появу магнітного потоку полюсів електромашинного підсилювача й пропорційної напруги на його вихідних контактах. По обмотках збудження НОГ1 і НОГ2 генераторів піде струм, генератори почнуть видавати напругу тим більше, ніж більше струм збудження I_3 . Якоря електродвигунів М1-М2 прийдуть в обертання, і частота їхнього обертання буде пропорційна напругам генераторів. Таким чином, частота обертання якорів двигунів М1-М2 виявляється пропорційною куту повороту ротора сельсина-задатчика швидкості БКК.

Якщо ротор сельсина-задатчика повернути в іншу сторону від нейтрального положення, то по обмотках управління ОРОЗКМ1-7 й ОКМ11-7 піде струм, також спрямований у протилежну сторону. У цьому випадку вихідний струм магнітного підсилювача ТКМ-1 зменшиться, а струм магнітного підсилювача ТКМ-11 збільшиться. Намагнічуюча сила F_{111} обмотки ЕМП111 зробиться більше, намагнічуючої сили, F_1 обмотки ЕМП1. Полюса ЕМП намагнітяться з полярністю, протилежною полярності в попередньому випадку, і на виході ЕМП з'явиться напруга також протилежної полярності. Генератори будуть виробляти е. р. с, під дією якої струм головного контуру змінить свій напрямок і якорі електродвигунів почнуть обертатися в іншу сторону. Конструкцією поста управління лебідки ЛЕТр-2-6М передбачається можливість повороту ротора на кут до 40° у кожную сторону.

Автоматичне регулювання, що зм'якшує механічні характеристики тралової лебідки, також здійснюється шляхом управління магнітними потоками головних генераторів. Для цього введений негативний зворотний зв'язок від сили струму головного контуру, що впливає на магнітні потоки головних генераторів. Частина струму головного контуру пропускається через керуючу обмотку ОКМ111-7 магнітного підсилювача ТКМ-111 (при роботі лебідки у бік «вибирати») або через керуючу обмотку ОКМ1В-7 (при роботі лебідки у бік «травити»). Включення обмоток управління того або іншого магнітного підсилювача відбувається автоматично, тому що вони включені через напівпровідникові діоди ВК1 і ВК2. Сигнал, пропорційний струму, посилений магнітним підсилювачем ТКМ-111 (або ТКМ-IV), надходить на обмотку, що розмагнічує, порушення ЕМПІV електромашинного підсилювача. Чим сильніше струм головного контуру, тим більше розмагнічуються полюси ЕМП і відповідно менше струм I_3 збудження головних генераторів. Отже, будуть нижчі напруги на їхніх якорях і менші частоти обертання електродвигунів М1-М2. Підключення до розмагнічуючої обмотки ЕМПІV магнітного підсилювача ТКМ-111 при вибірці ваєров або ТКМ-IV при травленні ваєров виробляється контактами РП₁-РП₄ проміжного реле РП, що у свою чергу управляється контактами 1КК4 (або 2КК4) чотириконтактного командоконтролера КК, заблокованого із сельсином-здатчиком швидкості БКК.

Застосування для формування механічних характеристик лебідки двох магнітних підсилювачів (ТКМ-111 і ТКМ-IV), один із яких працює тільки в режимі «підйом», а інший - тільки в режимі «спуск», дозволяє набудовувати механічні характеристики цих режимів незалежно друг від друга. Рекомендується набудовувати систему автоматики так, щоб максимальна частота обертання електродвигунів лебідки не перевершувала 160% номінальної, а момент зупинки двигуна під навантаженням - 190% номінального моменту рівної потужності свідчить про істотну розбіжність між цими кривими.

Обмотка ОКМ111-1 (або ОКМIV-1) включена в ланцюг вихідного робочого струму магнітного підсилювача в такій полярності, щоб створювався позитивний

зворотний зв'язок і збільшувався коефіцієнт підсилення підсилювача. Обмотка ОКМ111-6 (або ОРОЗУМ IV-6) включена також у ланцюг вихідного струму підсилювача, але так, щоб створювався негативний зворотний зв'язок, і знижувався коефіцієнт підсилення. Ампер-витки обох обмоток приблизно однакові, і їхня спільна дія майже не змінює загальний коефіцієнт підсилення підсилювача ТКМ-111 (або ТКМ-IV). Розмагнічуючи обмотки ОКМ111-6 й ОКМIV-6 включені через контакти кінцевих вимикачів KB1-2 і KB2-2, пов'язаних з гідромуфтами включення барабанів. Коли обидві муфти включені й обидва барабани працюють, ланцюг обмоток ОКМ111-6 й ОРОЗКМ IV-6 замкнутий, і по них іде робочий струм магнітного підсилювача. Однак, якщо роз'єднати один із барабанів, і контакт одного з кінцевих вимикачів розімкнеться. Це викличе відключення обмотки негативного зворотнього зв'язку магнітного підсилювача, і коефіцієнт підсилення останнього збільшиться. Схема настроєна так, що відключення обмотки негативного зворотнього зв'язку ОКМ111-6 знижує момент стоянки лебідки під навантаженням до 90-100% номінального значення, що для одного барабана є приблизно дворазовим перевантаженням.

Принципова схема електропривода лебідки ЛЕТр-2-6М зображена на рис. 1.6. На ньому показані схеми управління й захистів приводних асинхронних електродвигунів чотирьох мотор-генераторних перетворювальних агрегатів А1, А2, А3 й А4, що входять до складу електрообладнання тралової лебідки. Малопотужні перетворювачі А3 й А4 пускаються в хід безпосереднім підключенням до мережі за допомогою магнітних пускачів типу ПММ-1111-1. Ці пускачі крім операцій пуску й зупинки двигунів ПДЕ й ПДВ здійснюють також їхній захист від можливості роботи при напрузі нижче номінальної й від теплових перевантажень. Головні перетворювачі А1 й А2 запускаються за допомогою станцій управління СК1 і СК2 типу ПМХ-5309-43БЗ. Двигуни 1ПД й 2ПД запускаються методом перемикачів із зірки на трикутник. Станція управління здійснює автоматичний пуск у функції часу. Необхідна для розгону агрегату витримка часу задається двома електромагнітними реле часу з короткозамкненими демпферними гільзами 1РВ й 2РВ. Пуск і зупинка

головних перетворювачів можливі із двох постів управління - безпосередньо зі станцій управління у машин (кнопки «Пуск» і «Стоп») і дистанційно із промислової рубки (кнопки 1КПА і 1КОА, а також 2КПА і 2КОА). Станції управління здійснюють ті ж види захистів електродвигунів, що й магнітні пускачі типу ПММ-1111-1.

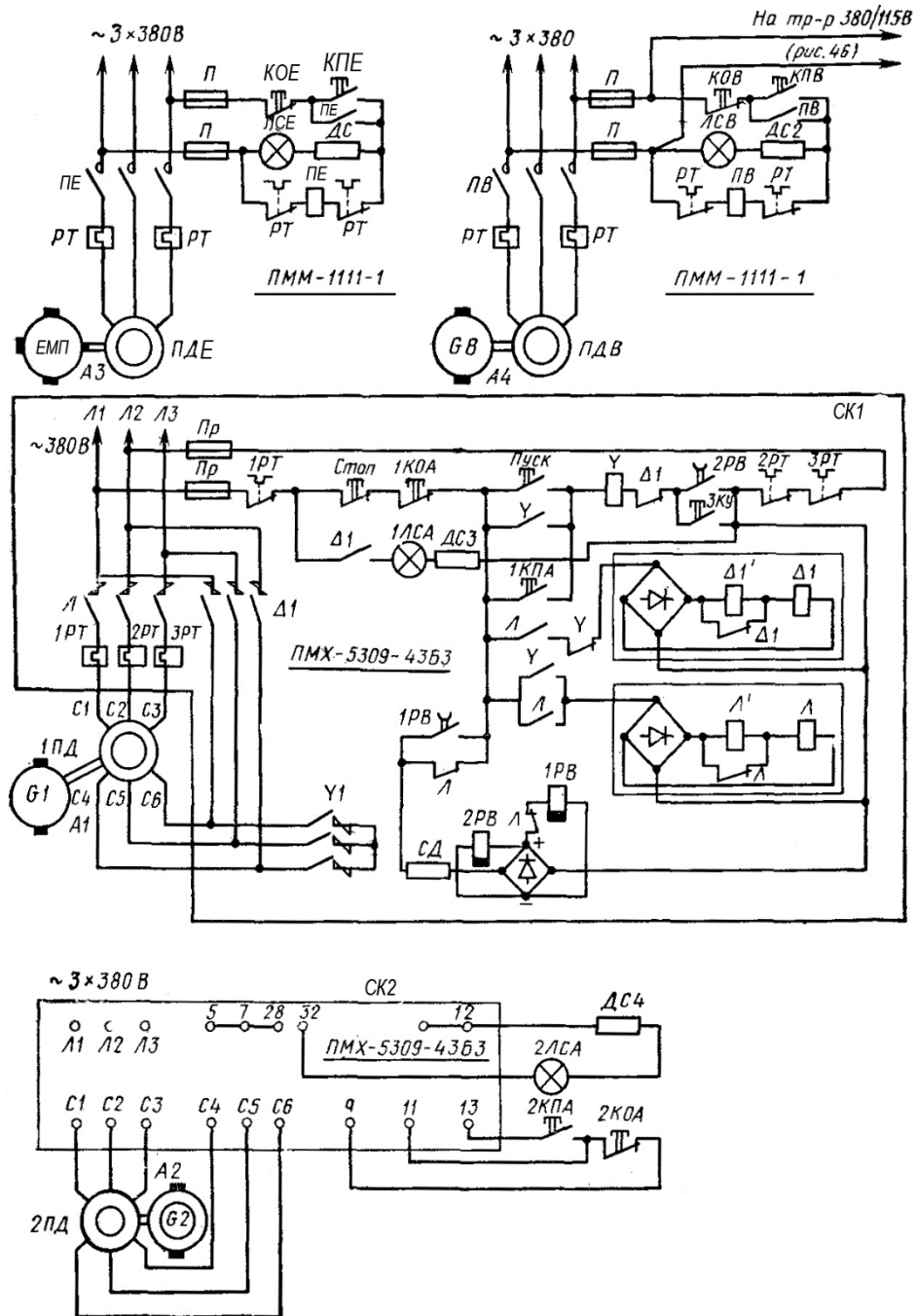


Рисунок 1.6—Принципова схема електропривода лебідки типу ЛЕТр-2-6М (ланцюга управління й захисту приводних асинхронних двигунів основних та збуджуючих агрегатів):

1ПД, 2ПД - приводні двигуни генераторів G1 і G2 головного контуру; ПДЕ, ПДЗ - приводні двигуни збудника GB і ЕМП; Δ1, Y1, Л - контактори вмикання обмоток ПД по схемах «Δ», «Y» і лінійний контактор; 1РВ, 2РВ - реле часу.

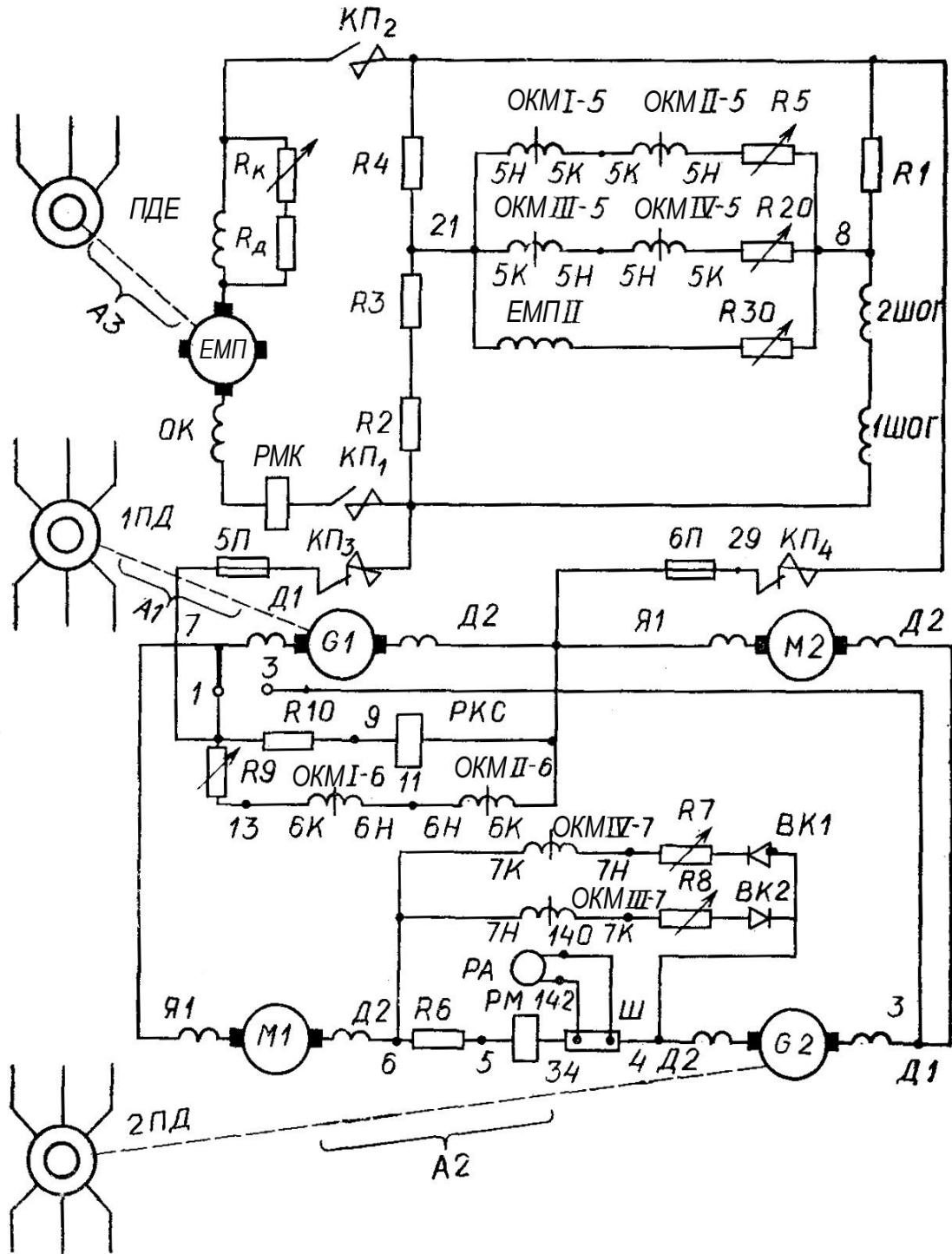


Рисунок 1.7– Принципова схема електропривода лебідки ЛЕТр-2-6М (ланцюга головного струму й збудження генераторів G1 і G2):

ОКМ - обмотки управління магнітних підсилювачів; РКС - реле напруги (захист від перевищення швидкості); РМ - реле максимальне головного контуру; РМП – реле максимальне ЕМП; РА - амперметр.

Особливість контактів Y і Δ , використаних в описуваних станціях управління, - наявність двосекційної обмотки. Друга секція обмотки, виконана із проведення малого перетину, відіграє роль економічного опору. На рисунку 1.7 показана принципова схема станції управління СК1 і схема зовнішніх з'єднань СК2. На рис. 1.7 зображена принципова схема головного контуру електропередачі ДГ-Д тралової лебідки ЛЕТр-2-6М і ланцюгів збудження головних генераторів [3].

Принцип основного регулювання цієї схеми описаний при розгляді рисунка. Тут розглянемо деякі додаткові види управління і захисту, використані в схемі. Керуюча обмотка першого і другого магнітних підсилювачів ОКМ-6 й ОКМ11-6 з'єднані послідовно й через настановний резистор $R9$ включені паралельно якорю генератора. Обмотки включені так, що їхні ампер-витки зустрічні ампер-виткам обмоток, що задають управління ОКМ1-7 й ОКМ11-7.

Таким чином, здійснюється твердий негативний зворотній зв'язок по напрузі генератора. Він діє на обидва головні генератори (напруги генераторів однакові, тому, встановивши зворотний зв'язок по напрузі одного генератора, досягають того ж результату, що був би при встановленні зворотнього зв'язку по сумарній напрузі обох генераторів). Твердий, негативний зворотний зв'язок по напрузі зменшує залежність напруг генераторів $G1$ і $G2$ від випадкових коливань напруги й частоти суднової мережі трифазного струму від прогріву обмоток електромашинного й магнітних підсилювачів, а також інших дестабілізуючих факторів, що впливають на ланцюги управління струмом збудження генераторів. За допомогою резистора $R9$ у ланцюзі керуючих обмоток ОКМ1-6 й ОКМ11-6 установлюють бажані значення е. р. с. генераторів $G1$ і $G2$ при холостому ході.

Для поліпшення динамічних параметрів лебідки всі основні ланки ланцюгів управління електроприводом охоплені гнучким негативним зворотнім зв'язком. Із цією метою додаткові керуючі обмотки всіх підсилювачів (обмотки ЕМП11, ОКМ1-

5, ОКМ11-5, ОКМ111-5 й ОКМ IV-5) включені в діагональ чотириплечного моста, утвореного резисторами $R_4 (R_2+R_3)$, R_1 і двома послідовно включеними обмотками збудження генераторів 1ШОГ й 2ШОГ. Опори резисторів підібрані такими, щоб у сталому режимі роботи міст був би врівноважений. У цьому випадку напруга між крапками 21-8, до яких підключені додаткові керуючі обмотки підсилювачів, дорівнює нулю незалежно від напруги ЕМП, підключеного до іншої діагоналі моста. При перехідних процесах, пов'язаних зі змінами магнітних потоків в обмотках збудження 1ШОГ й 2ШОГ генераторів, схема з моста постійного струму перетворюється у міст змінного струму, і баланс його порушується. При цьому на діагоналі 21-8 з'являється напруга, і по додаткових обмотках збудження ЕМП11, ОКМ1-5 ОКМ11-5, ОКМ111-5 й ОКМIV-5 ідуть струми, що сповільнюють протікання перехідних процесів.

У нульовому положенні командоконтролера, коли двигуни М1 і М2 загальмовані й не виробляють противо-е. р. с., а генератори G1 і G2 обертаються, навіть невелика залишкова е. р. с. генераторів може викликати в головному контурі схеми Г-Д появу сильного струму, здатного перегріти машини й зашкодити їхню ізоляцію. Особливо небезпечний струм для ізоляції електродвигунів, які під час стоянки позбавлені охолодної вентиляції. Для придушення струму стоянки обмотки збудження генераторів 1ШОГ й 2ШОГ за допомогою замкнених контактів КП₃ і КП₄ контактори КП (контактор поля) підключаються до якоря генератора G1 у такій полярності, щоб придушувався потік залишкового магнетизму і знижувався струм стоянки до безпечної величини. При повороті ротора сельсина-задатчика БКК у будь-яку сторону від нульового положення замикається контакт 1КК2 (або 2КК2) з'єднаного з ним чотириконтактного командоконтролера і включається котушка контактора КП (рис. 1.9). Контактор КП замикає свої контакти КП₁ і КП₂ і розмикає контакти КП₃ і КП₄. Обмотки збудження генераторів підключаються до якоря ЕМП, а ланцюг розмагнічування розривається. Управління роботою лебідки може здійснюватися з кожного із двох постів: основного, розташованого в промисловій рубці, і місцевого, розташованого на палубі біля лебідки. Перемикач постів

управління ПП перебуває на основному пості управління. Місцевий пост управління призначений для виконання допоміжних операцій (перемотування ваєров, ремонти лебідки й т.п.), а також операцій в аварійних ситуаціях, коли основний пост управління ушкоджений.

На пост управління в рубці виведена вся основна апаратура управління лебідкою. Крім згаданого дванадцятиконтактного перемикача постів управління ПП там перебувають командоконтролер - задатчик швидкості лебідки 1БКК (рис. 1.8), кнопки пуску й зупинки всіх чотирьох перетворювальних агрегатів (рис. 1.6), вимикачі живлення ланцюгів управління 1ВП (рис. 1.9), 2ВП (рис. 1.8) і 1ВЛК. Там же розміщена апаратура для електричного управління гідросистемою включення й відключення муфт і гальм барабанів лебідки, кнопка аварійної зупинки лебідки «Стоп-1», лампи світлової сигналізації про роботу лебідки. Лампи 1ЛСА й 2ЛСА сигналізують про роботу головних перетворювальних агрегатів А1 й А2. Лампа ЛН сигналізує про наявність напруги на електрообладнанні гідросистеми. Лампа 5ЛГ повідомляє про включення гідро-муфт барабанів лебідки, лампи ЛСВ і ЛСЕ - про роботу перетворювальних агрегатів А4 й А3. Лампа ЛД загоряється у випадку спрацьовування захисту від механічного перевантаження на ваєрах. Лампа 1ЛГ свідчить про готовність електропривода лебідки до роботи.

На посту управління у рубці є також вольтметр PV (рис. 1.9), що контролює величину напруги генератора GB , що живить ланцюги управління, обмотки збудження 1ШОД, 2ШОД головних двигунів, електромагніти гальм цих двигунів й обмотки зсуву всіх чотирьох магнітних підсилювачів. Реостатом збудження $PЗ$ потрібно встановлювати напругу генератора GB рівну 230 В. Відхилення напруги від зазначеного значення більше чим на 10% може викликати порушення працездатності схеми. Амперметр $РА$ на цьому ж посту управління показує силу струму в головному контурі електропередачі лебідки. У нормальних режимах роботи лебідки показання амперметра повинні бути в межах 250- 650 А.

Оскільки місцевий пост управління використовується рідко й перебуває на відкритій палубі, де умови роботи електрообладнання менш сприятливі, чим у рубці,

на ньому встановлена мінімальна кількість органів управління: резервний сельсинний командоконтролер-задатчик швидкості лебідки 2БКК і вимикач ланцюгів управління місцевого поста 2ВЛК (рис. 1.8 і 1.9). Поруч із місцевим постом управління перебуває сигнальний щиток, на якому поміщена лампа сигналізації про готовність лебідки до роботи 2ЛГ і кнопка для негайної зупинки лебідки «Стоп-2».

Схема лебідки включає багато елементів, які повинні бути введені в роботу, перш ніж її електропривод зможе почати нормально функціонувати. Готовність цих елементів до роботи контролюється електричною схемою, що здійснює захисне нульове блокування. Це блокування (рис. 1.9) здійснюється контактором 1КН (при керуванні з основного поста) або 2КН (при керуванні з поста на палубі). У ланцюг котушки цього контактора включені блоки-контакти контакторів $\Delta 1$, $\Delta 2$, ПЕ і ПВ, що замикають при запуску всіх головних і малопотужних перетворювальних агрегатів А1-А4 (рис. 1.6), сім кнопок аварійної зупинки лебідки (1АК-5АК, «Стоп-1» і «Стоп-2») і розмикальні контакти трьох реле - РМ, РМУ і РКС. Реле максимального струмового захисту головного контуру РМ повинно бути настроєне на спрацьовування при струмі 950 А. Реле максимального струмового захисту електромашинного підсилювача РМП набудовують на спрацьовування при струмі 25 А. Реле напруги РКС захищає лебідку від аварійного перевищення швидкості при травленні ваєров у режимі рекуперативного гальмування. Це реле набудовують на спрацьовування при напрузі 390 В.

Захист машин електропривода лебідки від перегріву невеликими, але тривалими перевантаженнями по потужності (тепловий захист) здійснюється тепловими реле в ланцюгах живлення приводних асинхронних електродвигунів перетворювальних агрегатів (рис. 1.6).

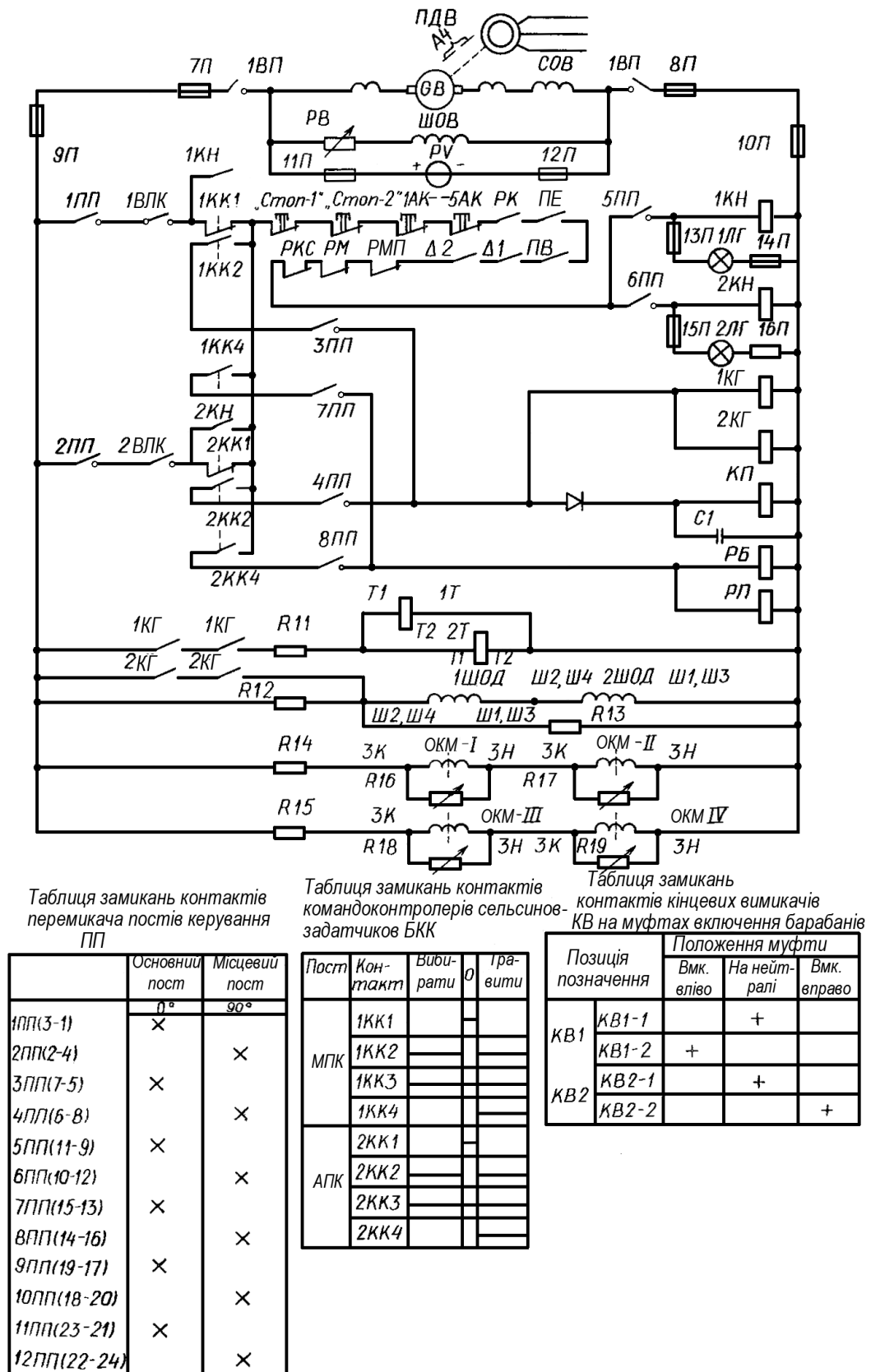


Рисунок 1.9– Принципова схема лебідки ЛЕТр-2-6М (ланцюги збудження двигунів М1 та М2, апаратури постів управління)

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження

Методологія – це взаємопов'язана сукупність принципів і підходів дослідницької діяльності, на які спирається дослідник в ході здобуття і розробки знань в рамках конкретного розділу науки [3]. Основне завдання методології науки полягає в забезпеченні евристичної форми пізнання системою строго визначених та апробованих принципів, методів, правил та норм. Ця система формується на основі об'єктивних законів і закономірностей дійсності. Методологія включає в себе вивчення законів, теорій, структури наукового знання, критеріїв науковості і системи використовуваних методів дослідження, і пов'язана з аналізом методів дослідження з точки зору логічної структури і формалізованих підходів до побудови теоретичного знання, його істинності і аргументованості [3, 4].

На підставі головних завдань магістерського дослідження, було складено алгоритм магістерської роботи, відтворений у вигляді структурно-логічної схеми дослідження (рисунок 2.1).

В початковій стадії дослідження проводиться аналіз релейно-контакторного електропривода постійного струму з метою виявлення особливостей конструкції та визначення шляхів поліпшення ефективності. В процесі порівняння виявляються переваги та недоліки конструкції електропривода. Дається оцінка доцільності використання бездатчикового електропривода.



Рисунок 2.1 - Структурно-логічна схема магістерського дослідження

В дослідженні основним методом обрано метод моделювання (вивчення явищ за допомогою побудови математичних моделей складних об'єктів, що приймаються за певною мірою спрощення внутрішніх процесів) завдяки його безпосереднім перевагам при вирішенні складних фізичних завдань, що значною мірою зміцнюються зростанням продуктивності комп'ютерної обчислювальної техніки.

За допомогою моделювання проводиться дослідження математичної моделі системи керування, а потім аналіз отриманих даних.

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

2.2 Методи проведення дослідження

Метод дослідження (грец. *methodos* – шлях до чого-небудь) – це спосіб досягнення мети, спосіб застосування старого знання про раціональні рішення певних завдань для одержання відомостей про новий об'єкт або предмет дослідження [4]. Багато визначень поняття метод дослідження зводиться до того, що це – шлях пізнання, шлях, що веде до об'єктивного знання.

Сукупність методів, прийомів проведення конкретного дослідження становлять методику дослідження. У свою чергу, сукупність методів і методик досліджень, що застосовуються в якій-небудь науці, визначають методологію цієї науки. Як відомо, методологія наукового пізнання в цілому – це навчання про принципи, форми і способи науково-дослідної діяльності.

У самому загальному виді методи, якими користуються дослідники, можна розділити на три групи: загальнологічні методи пізнання (порівняння, аналіз, синтез, абстрагування, моделювання і т.п.), методи емпіричного дослідження (спостереження, опис, вимір, експеримент) і методи теоретичного дослідження (уявний експеримент, ідеалізація, формалізація і т.п.) [3, 4].

Моделювання – це метод дослідження, що полягає в створенні й вивченні моделі, що замінює досліджуваний об'єкт (оригінал), з наступним переносом отриманої інформації на оригінал, це така мислено уявлювана або матеріально реалізована система, що, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна замінювати його так, що її вивчення дає нам нову інформацію про цей об'єкт. Моделювання можна розглядати і як особливий вид експерименту, у якому

моделювання одночасно і засіб, і об'єкт дослідження. Його доцільно використовувати в тих випадках, коли важко (або небажано) пряме експериментальне дослідження.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості "оригіналу" (але не обов'язково всі властивості) і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електромеханічних систем та їх елементів. Цей метод базується на трьох теоремах аналізу подібності [3].

Практично не обмеженими 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 застосовують аналітичні та статистичні моделі.

Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число чинників, завжди вимагають деяких припущень і спрощень, проте вони більш пристосовані для пошуку оптимальних рішень. Статистичні методи в порівнянні з математичними громоздкіші та погано осяжні.

Імітаційне моделювання використовується найчастіше при дослідженні складних електромеханічних систем і є процесом формування моделі реакції системи і проведення на ній чисельних експериментів з метою виявлення шляхів її створення, вдосконалення і ефективного використання.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі і натури математичному описі і використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементах, при цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає еквівалент. В якості моделі використовуються елементи ланцюга, складені з активних і пасивних елементів.

Для моделювання електромеханічних процесів в бездатчиковому електроприводі з різними принципами керування використовуються аналітичні і чисельні методи.

Найпоширенішими серед аналітичних методів є: варіаційні методи Релея-Рітца, Гальоркіна, асимптотичний метод та інші. Однак вони дуже громіздкі і в той же час не враховують багатьох чинників і тому є мало придатними при розрахунках.

Чисельні методи дозволяють отримати практично точне рішення задачі. В основу чисельних методів покладені дискретні розрахункові схеми. В результаті дискретизації континуальна система з незліченною кількістю ступенів свободи зводиться до системи з кінцевим числом ступенів свободи. Найбільший розвиток отримали метод кінцевих елементів, метод кінцевих різниць, метод кінцевих об'ємів та інші.

Експеримент (лат. *experimentum* – проба, досвід) – це метод дослідження, в основі якого лежить цілеспрямований вплив на об'єкт у заданих контрольованих умовах, опосередкований раціональним (в ідеалі теоретичним) знанням. Експеримент передбачає врахування всіх параметрів при постановці наукового досліду (умов його проведення), він повинен бути достовірним і покликаний підтвердити (або спростувати) висунуті гіпотези, встановити раніше невідомі властивості (характеристики) досліджуваних об'єктів, виявити закономірності протікання явищ і процесів. Експериментом є науково поставлене дослідження або спостереження явища або процесу в умовах, що точно враховуються, дозволяють стежити за ходом експерименту, управляти або відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов. Від звичайного, пасивного спостереження експеримент відрізняється активним впливом дослідника на явище, що вивчається. Метою експерименту є перевірка теоретичних положень, а також ширше і глибше вивчення теми наукового дослідження.

Так само, як і теоретичні методи, експерименти поділяються на декілька видів. Експерименти бувають природні і штучні. Природні експерименти характерні при вивченні соціальних явищ в обстановці, наприклад, виробництва, побуту і тому

подібне. Штучні експерименти широко застосовують в природничо-наукових дослідженнях.

Інколи виникає необхідність проведення пошукових експериментальних досліджень. Вони потрібні у тому випадку, коли не можна кваліфікувати всі чинники, що роблять помітний вплив на явище, що вивчається, або процес. На підставі такого експерименту будується програма досліджень в повному об'ємі.

Експериментальні дослідження бувають лабораторні і виробничі.

Виробничі експериментальні дослідження передбачають вивчення процесу в реальних умовах з врахуванням випадкового впливу зовнішнього середовища.

Лабораторні дослідження проводять із застосуванням типових приладів, спеціальних моделюючих установок, стендів, устаткування і так далі. Для підтвердження результатів роботи буде виконано таке дослідження.

2.3 Методи розрахунку поставленої задачі

Математичне моделювання електромеханічних процесів роботи комплектного електроприводу (КЕП) проводилося на ЕОМ з використанням програмного середовища *Matlab* та його графічної надстройки *Simulink*. Завдяки вбудованим програмним функціям і бібліотечним блокам використання даного програмного продукту дозволяє провести математичне моделювання багатьох складних систем. Окрім того *Simulink* реалізує принцип візуального програмування, що суттєво спрощує процес побудови математичної моделі, а саме складних диференціальних рівнянь що відображають процеси перетворення енергії в КЕП, та впроваджує високий рівень наочності системи, що розробляється в процесі синтезу [5].

Найбільш ефективним методом розрахунку характеристик перехідних процесів електромеханічних систем та машин є метод кінцевих елементів. Суть методу кінцевих елементів полягає в тому, що мінімізація функціонала варіаційної

задачі здійснюється на сукупності функцій, кожна з яких визначена на своїй під області [6]. Область, в якій шукається вирішення диференціальних рівнянь, розбивається на кінцеву кількість підобластей (елементів). У кожному з елементів довільно вибирається вигляд апроксимуючої функції. У простому випадку це поліном першого ступеня. Поза своїм елементом апроксимуюча функція дорівнює нулю. Значення функцій на кордонах елементів (вузлах) є рішенням задачі і заздалегідь невідомо. Коефіцієнти апроксимуючих функцій зазвичай шукаються з умови рівності значення сусідніх функцій на кордонах між елементами (у вузлах). Потім ці коефіцієнти виражаються через значення функцій у вузлах елементів. Складається система лінійних рівнянь алгебри. Кількість рівнянь дорівнює кількості невідомих значень у вузлах, на яких шукається вирішення вихідної системи, прямо пропорційно кількості елементів і обмежується лише можливостями обчислювальної техніки. Оскільки кожен з елементів пов'язаний з обмеженою кількістю сусідніх, система лінійних рівнянь алгебри має розряджений вигляд, що істотно спрощує її рішення. Використання систем кінцево-елементного аналізу робить можливим дослідження об'єктів без створення їх матеріального прототипу, шляхом складання та рішення адекватної математичної моделі.

Для чисельного розрахунку диференціальних рівнянь математичних моделей в *Simulink* було використано метод Дормана-Прінца. Цей метод є членом сімейства підходів на базі метода Рунге-Кутта для вирішення звичайних диференціальних рівнянь. Зокрема, він використовує шість оцінок функції для обчислення четвертого і п'ятого порядку точності рішення [5, 7]. Різниця між цими рішеннями, потім приймається за помилку (четвертого порядку) рішення. Ця оцінка похибки є дуже зручною для адаптивних алгоритмів вибору кроку інтегрування, що широко використовуються в сучасних обчислювальних програмах. Метод Дормана-Прінца має сім ступенів, але він використовує тільки шість оцінок функції за кроком, тому що має властивість FSAL (First Same As Last – перший такий же як останній): останній етап оцінюється в тій же точці, як і перший етап до наступного кроку. Дорман і Прінц вибрали коефіцієнти для методу, щоб мінімізувати помилки п'ятого

порядку рішення. Це основна відмінність від методу Фельберг, який було побудовано таким чином, що рішення четвертого порядку має невелику помилку. З цієї причини метод Дормана-Прінца більше підходить, коли вищі рішення використовується для продовження інтеграції, на практиці дані явища відомі як місцеві екстраполяції [8].

2.4 Висновки по розділу 2

В даному розділі розглядається методологія проведення магістерського дослідження бездатчикового асинхронного електропривода. Важливою пізнавальною процедурою при плануванні й організації дослідницького процесу є визначення методологічних основ дослідження, вибір методів його проведення і перетворення їх потім у конкретні дослідницькі кроки та теоретичні висновки. З метою повного вирішення задачі, діючи на підставі поставленого завдання, була розроблена структурно-логічна схема магістерського дослідження (рисунк 2.1), що відображає всі етапи проведення роботи. Основну увагу було приділено теоретичній частині, до якої віднесено математичне моделювання електромеханічних процесів в бездатчиковому електроприводі. Дослідженню підлягають системи автоматичного керування з бездатчиковою системою керування.

В даному розділі аналізуються найбільш ефективні методи проведення досліджень складних електромеханічних систем. На основі проведеного огляду було прийнято рішення використати метод математичного моделювання систем керування, що з розвитком сучасної обчислювальної техніки дозволяє відносно просто проводити дослідження об'єкта, при якому безпосередньо вивчається не сам об'єкт, а деяка допоміжна штучна система, яка є еквівалентом об'єкта. Вона відображає в математичній формі його найважливіші властивості – закони, яким він підкоряється; зв'язки, властиві його складовим частинам, тощо. Таким чином, на

основі дослідження бездатчикового електропривода в математичних моделях можливо отримати характеристики реального об'єкта, що розглядається. В пункті 2.3 проводиться обґрунтований вибір методів чисельних розрахунків перехідних характеристик математичних моделей. На підставі фактично не обмежених можливостей моделювання було обрано обчислювальне програмне середовище *Matlab*, що за рахунок спеціально розроблених бібліотек впроваджує високий рівень точності, адекватності та наочності при розгляді математичних моделей складних реальних об'єктів.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вибір двигуна

Для проведення дослідження, був обраний асинхронний двигун серії АІР (рисунок 3.1). Їх перевага: надійність, простота конструкції, ремонтпридатність, тривалий міжремонтний період і термін експлуатації. Технічні данні двигуна АІР280S6 з наведені в таблиці 3.1.

Конструкція двигуна – в електродвигунах корпус статора виготовлений з чавуну або алюмінієвих сплавів. Двигуни можуть кріпитися до механізму на лапах або за допомогою фланця. Торцеві щити виконані з чавуну, в щити вбудовані радіальні підшипники валу.

З ряду потужності від 0,06 до 315 можна дуже точно підібрати необхідну потужність двигуна. Висота осі двигуна в діапазоні від 50 до 355 мм. Число оборотів 750 - 3000 об/хв. Велика лінійка настановних розмірів і варіантів захисту. Тому з двигунів АІР можна підібрати асинхронний двигун, що задовольняє практично будь-яким вимогам.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд електродвигуна серії АІР

Таблиця 3.1. Технічні характеристики АД АІР280S6

Найменування	Значення
Потужність	$P_{\text{ном}}=75 \text{ кВт}$
ККД	$\eta_{\text{ном}}=93.5\%$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi_{\text{ном}}=0.86$
Ковзання	$S_{\text{ном}} = 5.0 \%$
Кратність пускового моменту	$\frac{M_n}{M_{\text{ном}}} = 2.0$
Кратність критичного моменту	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} = 2.2$
Кратність пускового струму	$\frac{I_n}{I_{\text{ном}}} = 6.0$
Момент інерції	$J = 6.7 \text{ кг/м}^2$
Номінальна частота обертання	$\omega_{\text{ном}} = 100.5 \text{ рад/с}$
Номінальний момент	$M_{\text{ном}} = 716.25 \text{ Нм}$
Пусковий момент	$M_{\text{п}} = 1432.5 \text{ Нм}$
Критичний момент	$M_{\text{к}} = 1575.8 \text{ Нм}$
Номінальний струм статора	$I_{\text{ном}} = 142 \text{ А}$
Критичне ковзання	$S_{\text{кр}} = 0,24509$
Активний опір статора	$R_s = 2.808 \text{ Ом}$

Продовження таблиці 3.1.

Найменування	Значення
Активний опір ротора	$R_r = 1.731 \text{ Ом}$
Реактивний опір статора	$X_s = 2.721 \text{ Ом}$
Реактивний опір ротора	$X_r = 3.759 \text{ Ом}$
Опір взаємодуції	$X_m = 65.095 \text{ Ом}$
Повна індуктивність статора	$L_s = 0.216 \text{ Гн}$
Повна індуктивність ротора	$L_r = 0.219 \text{ Гн}$
Взаємна індуктивність статора і ротора	$L_m = 0.207 \text{ Гн}$
Коефіцієнт магнітного зв'язку	$k_s = 0.9599$
Коефіцієнт магнітного зв'язку ротора	$k_r = 0.9454$
Коефіцієнт розсіювання	$\sigma = 0.093$
Маса	$m = 690 \text{ кг}$

Перетворювачі частоти ЕПВ (рисунок 3.2) представляють собою нове покоління багатофункціональних, «інтелектуальних» пристроїв керування низьковольтними (до 440 В) електродвигунами змінного струму, асинхронними і синхронними, з датчиками швидкості з номінальним вихідним струмом до 480 А, потужністю від 1 до 250 кВт.

Перетворювачі ЕПВ застосовуються в регульованих приводах механізмів і технологічних процесів з різними вимогами до параметрів регулювання та умовам експлуатації: від насосів і вентиляторів до високоточних верстатів і слідкуючих систем.

Частотні перетворювачі ЕПВ використовуються в електроприводах головного руху і електроприводах подач верстатів, приводах кранового устаткування та підйомно

транспортних механізмів, пристроях стеження і позиціонування з підвищеними вимогами до швидкодії, статичної та динамічної точності регулювання швидкості і моменту.

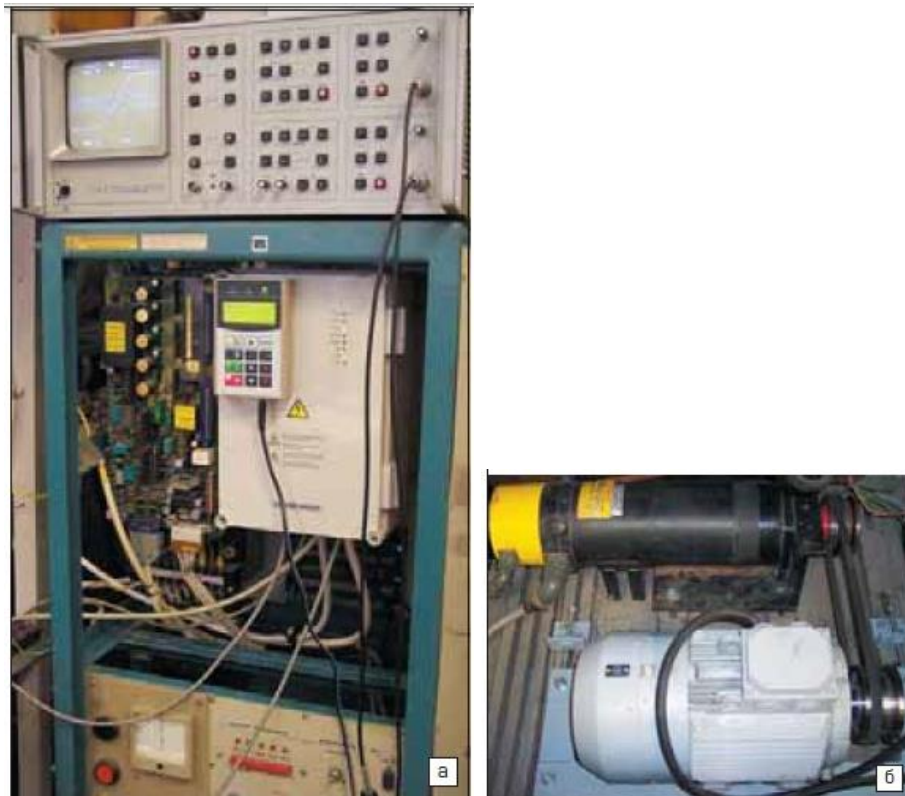


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти ЕПВ та електродвигуна АПР на робочому місці

Відповідно до типу та потужності двигуна обираємо перетворювач частоти ЕПВ-ТТІПТ-116-380-4АО з номінальними параметрами, які представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики перетворювача напруги

Найменування	Значення
Напруга живлення	$U_{ном} = 380 \text{ В}$
Номінальний вихідний струм	$I_{ном} = 160 \text{ А}$

Продовження таблиці 3.2.

Найменування	Значення
Максимальний вихідний струм	$I_{max}=200\text{ А}$
Номінальна вихідна потужність	$P_{nom}=85\text{ кВт}$
Типова потужність	$P_m=80\text{ кВт}$
Вихідна частота	$f = 0..400\text{ Гц}$
Струм спрацювання захисту	$I_c=360\text{ А}$
Максимальний струм гальмування	$I_{\varepsilon}=230\text{ А}$
Мінімальний опір баласт. резистора	$R_{\sigma} = 43\text{ Ом}$
Потужність втрат в ном. режимі	$P_{\varepsilon}=1.6\text{ кВт}$
Максимальна температура радіатора	$t_{max} = +85^{\circ}$

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Завдання побудови високоякісного асинхронного електроприводу з векторним керуванням без використання будь-яких датчиків, розміщених на валу або вбудованих у двигун, постійно привертає увагу розробників з моменту появи самого терміна «векторне керування» стосовно асинхронного двигуна на початку 1970-х років. Область застосування таких електроприводів визначається наступними умовами:

- механізм висуває підвищені вимоги до швидкодії приводу;
 - в приводі потрібне регулювання електромагнітного моменту на валу двигуна;
 - не потрібна висока статична точність і широкий діапазон регулювання швидкості (діапазон не більше 100);
 - встановлення датчика швидкості на вал двигуна неможлива за умовами експлуатації, технологічним, вартісним або іншим обмеженням.
- Типовими об'єктами є електроприводи (ЕП) підйомно-транспортних засобів, механізмів намотування, екструдерів, працюючих в пожежонебезпечних, вибухонебезпечних, хімічно і радіоактивних середовищах, в умовах підвищених вібрацій і ударних механічних навантажень.

4.1 Загальні відомості про бездатчикові асинхронні приводи і основні проблеми, зв'язані з побудовою бездатчикового векторного електропривода

В даний час бездатчикові асинхронні приводи з векторним керуванням представлені практично всіма провідними фірмами-виробниками перетворювачів частоти. При цьому характеристики більшості цих приводів виявляються досить скромними. Зокрема, полоса пропускання контуру швидкості, як правило, не перевищує (5-7) Гц, а загальний діапазон регулювання швидкості (вгору і вниз від

номінальної) не більше (20-100), що цілком досяжно і в системі частотного керування з векторною орієнтацією змінних в сталих режимах роботи. Більшість же виробників перетворювачів частоти взагалі не заявляють у технічній документації смугу пропускання і діапазон регулювання швидкості. У цьому випадку отримати подібну інформацію вдається тільки в результаті проведення стендових випробувань. Таким чином, якщо розглядати зазначені характеристики регулювання швидкості, то практично «стирається грань» між бездатчиковими електроприводами з частотним і векторним керуванням. Характеристики асинхронних векторних електроприводів без датчика швидкості можуть суттєво перевищувати аналогічні характеристики систем частотного керування. Зокрема, смуга пропускання контуру швидкості може становити більше 30 Гц, а в діапазоні регулювання швидкості не менше 100 забезпечуються значно менші статичні і динамічні помилки. Проте для досягнення таких результатів доводиться вирішити ряд проблем.

Основні проблеми, пов'язані з побудовою бездатчикового векторного електроприводу, заключаються в наступному.

Спостерігач стану асинхронного двигуна (АТ), побудований на основі рішення повної системи рівнянь електричної рівноваги для статора і ротора за доступною інформації про напруги і струми статора, здатний забезпечити прийнятну точність обчислення потокозчеплення і швидкості тільки в обмеженому діапазоні частот. Це пов'язано з відомою проблемою введення початкових умов при частотах, близьких до нульової. Практично всі способи рішення цієї проблеми зв'язані з визначенням відхилення математичного опису спостерігача стану відносно реального об'єкта при роботі в області малих частот. Ці відхилення проявляються у вигляді помилки в обчисленні потокозчеплення, швидкості, активної і реактивної складової струму.

Наступною проблемою є чутливість електроприводу до зміни його параметрів в процесі роботи. Перш за все це відноситься до температурних змін активних опорів статора і ротора, а також до зміни взаємної індуктивності в залежності від струму кола намагнічування. Одним з піходів до рішення данної проблеми в побудові

векторного регулятора і спостерігача стану АД являється використання регуляторів, грубих у відношенні параметричних збурень, в тому числі, релейних регуляторів, функціонуючих в ковзних режимах. Іншим підходом являється параметрична адаптація, здійснена в реальному часі при роботі привода.

Третьою проблемою є отримання необхідної точності оцінки еквівалентних (усереднених на інтервалі розрахунку процесів в спостерігачі стану) значень струмів і напруг статора. На точність оцінки еквівалентних напруг в області малих частот основної гармоніки і високих частот модуляції істотно впливає «мертвий час» і затримки перемикання ключів інвертора. Проблема точності вимірювання напруги на малих частотах у набагато меншому ступені проявляється у векторних електроприводах з датчиком швидкості / положення, так як швидкодіючий контур швидкості, замкнутий по реально вимірюваному сигналу, здатний в значній мірі компенсувати помилки, пов'язані з динамічними «неідеальностями» ключів інвертора.

4.2 Структурна схема системи адаптивно-векторного керування асинхронним електроприводом

Структурна схема системи адаптивно-векторного керування асинхронним електроприводом наведена на рисунку 4.1.

Векторний регулятор струмів включає в себе ПІ- регулятори складових вектора струму статора по осях d і q , орієнтованим за оцінкою кутового положення вектора потокозчеплення ротора, і блок компенсації перехресних зв'язків.

Перетворювач напруг включає в себе обмежувач заданої напруги статора по осях d і q і перетворювач координат: ортогональна система (d, q) – полярна система – природна трифазна система (a, b, c) , нерухома відносно статора, і блок компенсації запізнювання системи крування.

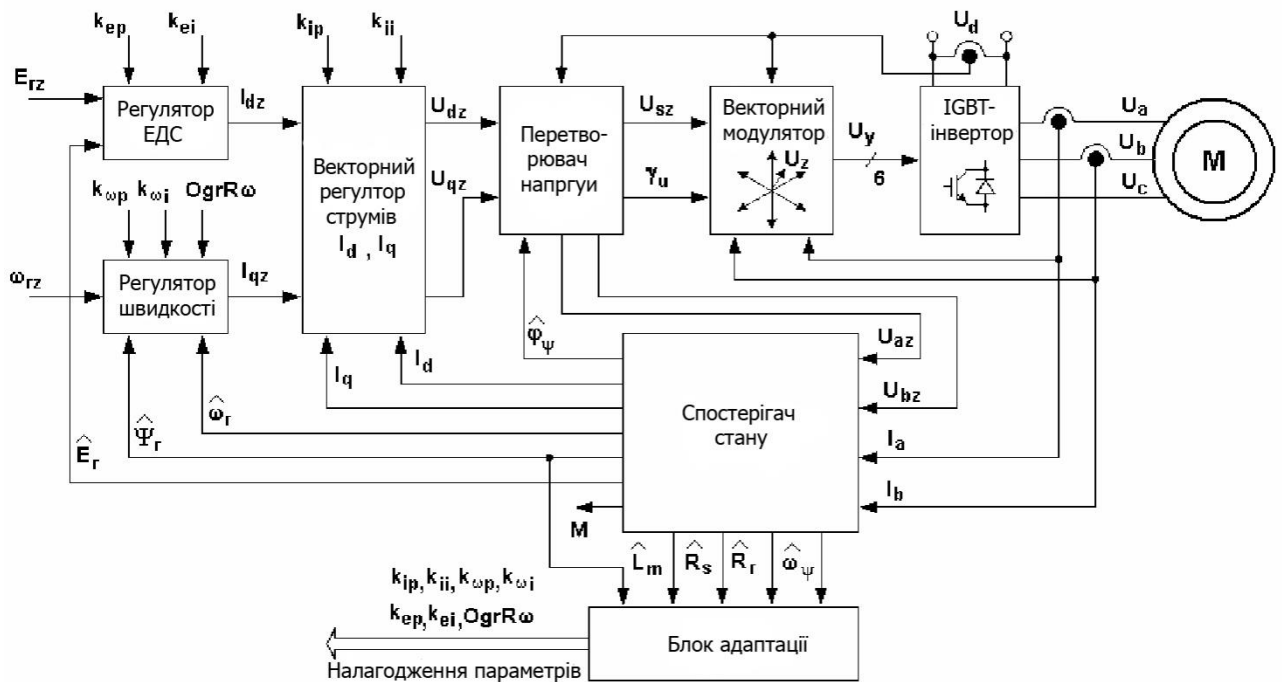


Рисунок 4.1 – Структурна схема електроприводу

Векторний модулятор реалізує «трикутний» алгоритм просторово- векторного формування вихідної напруги IGBT-інвертора з функцією компенсації «мертвого часу і затримок переключення силових ключів.

Спостерігач стану реалізує обчислення всіх змінних і параметрів двигуна, необхідних для реалізації алгоритму адаптивно-векторного керування, за інформацією про двох фазних струмах статора і двох заданих значеннях фазних напруг.

Блок адаптації виконує перерахунок параметрів регуляторів системи керування в залежності від відхилення параметрів двигуна, що проявляється в процесі роботи двигуна.

4.3 Синтез системи керування

Структурна схема спостерігача стану наведена на рисунку 4.2. Для обчислення необхідних змінних вводиться ортогональна система

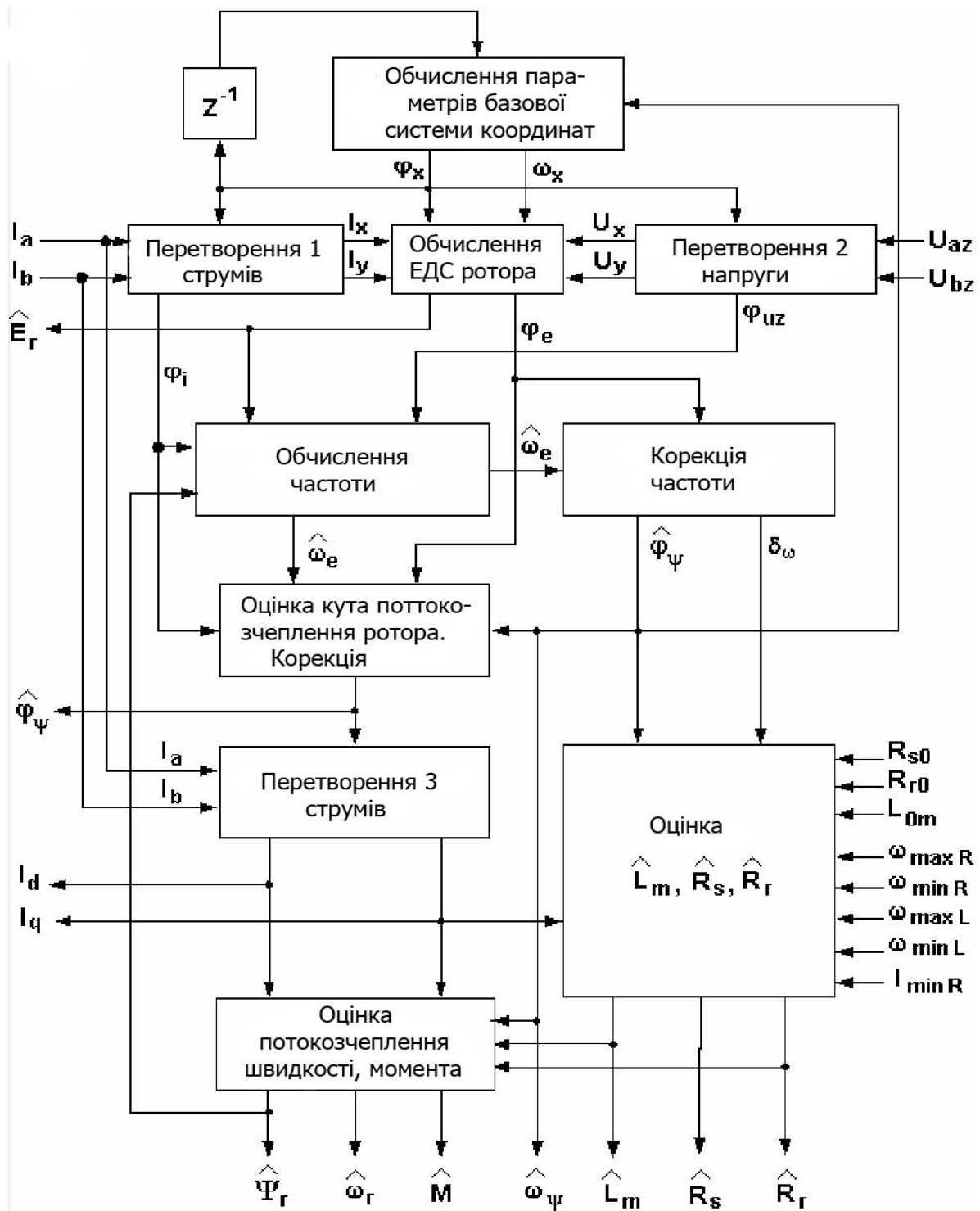


Рисунок 4.2 – Структурна схема спостерігача стану

координат (x, y) , що обертається синхронно з частотою поля. Її кутове положення не фіксується щодо будь-якої змінної або осі двигуна і може бути довільним, тобто «плаваючим».

Принциповими факторами є кутове положення, а синхронність системи (x, y) , яка забезпечує в сталих режимах роботи двигуна постійні значення обчислюваних змінних, а також її відносно висока інерційність (швидкість зміни кутового положення повинна бути обмежена), що забезпечує бажану ступінь стійкості цифрових обчислювальних алгоритмів. В якості частоти обертання системи координат (x, y) можуть прийматися змінні, величина яких в сталих режимах роботи дорівнює частоті обертання поля. Це можуть бути частоти обертання векторів потокозчеплень, відфільтровані значення частот обертання векторів напруги або струму статора.

У розглянутому випадку частота обертання системи (x, y) прийнята рівною оцінці частоти обертання вектора потокозчеплення ротора $\tilde{\omega}_\psi$. Кутове положення і частота системи координат на k -інтервалі розрахунку змінних спостерігача обчислюються за виразами:

$$\omega_{x,k} = \tilde{\omega}_{\psi,k-1}; \quad (4.1)$$

$$\varphi_{x,k} = \varphi_{x,k-1} + \omega_{x,k} T_0. \quad (4.2)$$

де T_0 – інтервал розрахунку змінних спостерігача.

Перетворення 1 струмів і перетворення 2 напруг із системи координат (a,b,c) в систему координат (x,y) здійснюється за виразом:

$$U_x = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[U_{az} \sin \left(\varphi_{x,k-1} + \frac{\pi}{3} \right) + U_{bz} \sin(\varphi_{x,k-1}) \right]; \quad (4.3)$$

$$U_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[U_{az} \cos \left(\varphi_{x,k-1} + \frac{\pi}{3} \right) + U_{bz} \cos(\varphi_{x,k-1}) \right]; \quad (4.4)$$

$$I_x = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_a \sin \left(\varphi_{x,k} + \frac{\pi}{3} \right) + I_b \sin(\varphi_{x,k}) \right]; \quad (4.5)$$

$$I_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_b \cos \left(\varphi_{x,k} + \frac{\pi}{3} \right) + I_b \cos(\varphi_{x,k}) \right]; \quad (4.6)$$

де I_a, I_b, U_{az}, U_{bz} – струми і задані напруги статора фаз a і b .

Використання для перетворення напруг кутового положення системи координат на попередньому інтервалі розрахунку пов'язано з наявністю запізнювання у вимірі струму щодо формування напруги. Перехід в полярну систему координат, нерухому відносно статора, дає кутові положення векторів заданої напруги і струму статора.

Розрахунок ЕРС ротора здійснюється на основі цифрового розв'язання рівнянь статорного ланцюга АД записаних у системі координат (x, y) :

$$U_x = R_s I_x + \sigma L_s \left(\frac{dI_x}{dt} \right) - \sigma L_s \omega_x I_y + E_{rx} ; \quad (4.7)$$

$$U_y = R_s I_y + \sigma L_s \left(\frac{dI_y}{dt} \right) - \sigma L_s \omega_x I_x + E_{ry} . \quad (4.8)$$

де

$$E_{rx} = \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \left(\frac{d\psi_{rx}}{dt} \right) - \omega_x \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \psi_{ry} ; \quad (4.9)$$

$$E_{ry} = \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \left(\frac{d\psi_{ry}}{dt} \right) - \omega_x \left(\frac{L_m}{L_r} \right) \psi_{rx} . \quad (4.10)$$

- проекції вектора ЕДС ротора в системі координат (x, y) ;

ψ_{rx}, ψ_{ry} – проекції вектора потокозчеплення ротора в системі координат (x, y) ;

$$\sigma = 1 + \left(\frac{L_m^2}{L_r L_s} \right). \quad (4.11)$$

- коефіцієнт розсіяння; L_m, L_r, L_s – індуктивності взаємна, ротора, статора, R_s - активний опір статора .

Перетворення E_{rx}, E_{ry} в полярну систему координат, нерухому відносно статора, дає оцінку модуля і кутового положення вектора ЕДС ротора ($\check{E}_r, \varphi_e$).

Розрахунок модуля першої оцінки частоти обертання вектора потокозчеплення ротора виконується з урахуванням припущення, що

трансформаторна складова ЕДС ротора $(\frac{L_m}{L_r})(\frac{d\psi_r}{dt})$ дуже мала в порівнянні з ЕДС обертання $j\omega_\psi(\frac{L_m}{L_r}\frac{L_m}{L_r})\psi_r$, з виразу :

$$|\tilde{\omega}_e| = \frac{L_r}{L_m} \frac{\ddot{\psi}_r}{\psi_r}, \quad (4.12)$$

де ψ_r – оцінка потокозчеплення ротора.

Знак частоти обертання вектора потокозчеплення ротора обчислюється на основі оригінального алгоритму за інформацією про кутові положення векторів заданої напруги і струму статора, модулі частоти обертання на поточному та попередніх інтервалах розрахунку і знаку частоти обертання на попередньому інтервалі розрахунку.

Корекція оцінки частоти обертання вектора потокозчеплення ротора за фактичною миттєвою частотою обертання вектора ЕРС ротора, обчисленої з його кутового положення φ_e , виконується з метою усунення в оцінці частоти помилку, викликану структурною та параметричною неадекватністю моделі статорного ланцюга, похибками вимірювальних каналів і наближеним характером обчислень. Корекція виконується на основі інтегрального регулятора частоти, коефіцієнт якого встановлюється виходячи з бажаного характеру руху помилки.

Оцінка кутового положення вектора потокозчеплення ротора φ_ψ виконується на основі інформації про кутові положення векторів ЕРС ротора, струму статора і оцінок частоти обертання вектора потокозчеплення ротора $\tilde{\omega}_e$, $\tilde{\omega}_\psi$. З урахуванням зневаги малої величини трансформаторної ЕРС, кутові положення векторів ЕРС і потокозчеплення ротора відстають один від одного на кут $\pm \pi/2$. Знак визначається напрямом обертання векторів (знаком частоти). На малих частотах величина ЕРС ротора прагне до нуля, і, отже, діапазон обчислення положення вектора ЕРС із заданою точністю обмежений деяким мінімальним значенням частоти $\omega_{\psi min}$. Щоб забезпечити працездатність спостерігача стану на частотах, менших $\omega_{\psi min}$

дійснюється перехід від орієнтації за вектором ЕРС до орієнтації за вектором струму статора. Алгоритм обчислень організований таким чином, що цей перехід здійснюється тільки в режимах малих ковзань, тобто близьких до холостого ходу двигуна. У цьому випадку положення вектора струму статора виявляється близьким до положення вектора потокозчеплення ротора, і перехід на орієнтацію по струму не приводить до великих помилок в точності обчислення змінних.

Додаткова корекція оцінки кутового положення вектора потокозчеплення ротора виконується з метою мінімізації впливу на точність обчислення змінних двигуна помилок, що викликаються наступними факторами:

- малими динамічними відхиленнями різниці кутових положень векторів ЕРС і потокозчеплення ротора від величини $\pm \pi/2$;
- динамічними помилками обчислення вектора ЕРС ротора;
- наявністю стрибків в оцінці становища вектора потокозчеплення, викликаних зміною структури спостерігача стану в області малих частот при переході з орієнтації за вектором ЕРС до орієнтації за вектором струму.

Корекція виконується на основі П- регулятора положення. Параметри регулятора вибираються виходячи з бажаного характеру руху помилки між нескоректованим та скоригованим значеннями кутового положення вектора потокозчеплення ротора. Корекція кута виконується з використанням алгоритму безінерційного усунення помилок, що перевищують певне порогове значення. Це робиться для усунення можливості накопичення великих похибок в обчисленні кута потокозчеплення при перехідних процесах «у великому» (коли регулятор швидкості переходить з лінійної області в обмеження, зокрема, при пусках, гальмуваннях і реверсі з номінальної частоти обертання).

Перетворення трьох струмів статора з системи координат (a, b, c) в ортогональну систему координат $i(d, q)$ орієнтовану за оцінкою кутового положення вектора потокозчеплення ротора, здійснюється за виразами:

$$I_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_a \sin \left(\varphi_{\psi} + \frac{\pi}{3} \right) + I_b \sin \left(\varphi_{\psi} \right) \right]; \quad (4.13)$$

$$I_q = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_a \cos \left(\varphi_{\psi}^{\sim} + \frac{\pi}{3} \right) + I_b \cos \left(\varphi_{\psi}^{\sim} \right) \right]. \quad (4.14)$$

Для виділення параметрів двигуна, до змін яких привід виявляється найбільш чутливим, а саме взаємної індуктивності, активних опорів статора і ротора, використовується сигнал невязки δ_{ω} . Цей сигнал визначає різницю між скоригованими значенням частоти обертання вектора потокозчеплення ротора $\tilde{\omega}_{\psi}$ і її першою оцінкою $\tilde{\omega}_e$. У якості вихідних значень обчислюваних параметрів (L_{m0} , R_{s0} , R_{r0}) використовуються значення, визначені в результаті виконання процедури автоналаштування приводу або введені користувачем на основі паспортних даних двигуна. Так як невязка одна, а оцінюваних параметрів три, то для забезпечення збіжності оцінок до істинних значень параметрів алгоритми обчислення оцінок рознесені в часі і залежно від режиму роботи приводу (рівня частоти і навантаження). З цією метою в блок оцінки параметрів вводиться додаткова інформація про межі функціонування алгоритмів оцінки (ω_{minR} , ω_{minL} , ω_{maxR} , ω_{maxL} , I_{minR}) і змінні, що характеризують величину частоти і навантаження. Для оцінки R_s використаний інтегральний регулятор, для оцінки L_m - пропорційно-інтегральний. Налаштування регуляторів зроблені таким чином, щоб забезпечити бажаний характер руху помилок оцінки параметрів. Оцінка температурного зміни R_s виконується непрямым чином з оцінки температурного зміни активного опору статора.

Оцінка потокозчеплення ротора, швидкості ротора і електромагнітного моменту здійснюється відповідно до рівняння:

$$T_r^{\sim} \frac{d\psi_{rx}^{\sim}}{dt} = -\psi_r^{\sim} + L_m^{\sim} I_d; \quad (4.15)$$

$$\tilde{\omega}_r = \frac{1}{Z_p} \left(\tilde{\omega}_{\psi} - \frac{L_m}{T_r} \frac{I_q}{\psi_r^{\sim}} \right); \quad (4.16)$$

$$M^{\sim} = \frac{3}{2} Z_p \frac{L_m^{\sim}}{L_r^{\sim}} \psi_r^{\sim} I_q, \quad (4.17)$$

де Z_p – число пар полюсів двигуна, $L_r^{\sim} = L_0 \left(\frac{L_0}{L_{m0}} \right)$; $T_r^{\sim} = L_{r0} \left(\frac{L_r^{\sim}}{L_r} \right)$ - оцінка індуктивності і постійної часу ротора.

4.4 Розрахунок елементів структурної схеми

Оцінка потокозчеплення ротора та частоти обертання

Інформація про вектор потокозчеплення ротора (його модуль ψ_r), кутове положення відносно фази А статора (φ_ψ) миттєва частота обертання (ω_ψ) розраховується в моделі роторного кола за наступним рівнянням:

$$T_r \frac{d\psi_r}{dt} = -\psi_r + L_m I_d; \quad (4.18)$$

$$\omega_\psi = \omega_{re} + \omega_{ck} = Z_p \omega_r + \frac{L_m}{T_r} \frac{I_q}{\psi_r}; \quad (4.19)$$

$$\varphi_\psi = \int \omega_\psi dt = \int Z_p \omega_r dt + \int \omega_{ck} dt = Z_p \varphi_r + \int \omega_{ck} dt. \quad (4.20)$$

Перетворювач координат ABC – dq виконує перетворення фазних струмів статора АД з трифазної системи координат (А,В,С) в ортогональну синхронну систему координат (d,q) за рівняннями:

$$I_d = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_a \sin \left(\varphi_\psi + \frac{\pi}{3} \right) + I_b \sin(\varphi_\psi) \right]; \quad (4.21)$$

$$I_q = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[I_a \cos \left(\varphi_\psi + \frac{\pi}{3} \right) + I_b \cos(\varphi_\psi) \right]. \quad (4.22)$$

Перетворювач напруги реалізує функції обмеження максимального значення заданої напруги, зворотного перетворення координат і компенсація запізнювання, що вноситься системою керування:

$$U_{s\max} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \frac{T_m - t_{0\min}}{T_m}, \quad (4.23)$$

де U_d - вхідна напруга інвертора, T_m - період модуляції вихідної напруги інвертора; $t_{0\min}$ - мінімально допустима ширина імпульса керування ключами інвертора, що визначається їх швидкодією.

Зворотнє перетворення заданих напруг статора з системи координат (d,q) , в систему (α, β) виконується за рівняннями:

$$U_{\alpha z} = U_{dz} \cos \varphi_\psi - U_{qz} \sin \varphi_\psi, \quad (4.24)$$

$$U_{\beta z} = U_{dz} \sin \varphi_\psi + U_{qz} \cos \varphi_\psi. \quad (4.25)$$

Блок компенсації перехресних зв'язків формує сигнали, що компенсують вплив перехресних зв'язків на процеси в контурах регулювання складових вектора струму статора, у відповідності з виразом:

$$U_{kd} = \frac{1}{k_{\text{пч}}} \left(-\sigma L_s \omega_\psi I_q + \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_r}{dt} \right); \quad (4.26)$$

$$U_{kq} = \frac{1}{k_{\text{пч}}} \left(-\sigma L_s \omega_\psi I_d + \frac{L_m}{L_r} \omega_\psi \psi_r \right), \quad (4.27)$$

де $k_{\text{пч}}$ - коефіцієнт передачі перетворювача частоти (ПЧ) по амплітуді напруги.

Корекція частоти

Корекція оцінки частоти обертання вектора потокозчеплення ротора за фактичною миттєвою частотою обертання вектора ЕРС ротора, обчисленої з його кутового положення φ_e , виконується з метою усунування в оцінці частоти помилку,

викликану структурною та параметричною неадекватністю моделі статорного ланцюга, похибками вимірювальних каналів і наближенні характером обчислень. Корекція виконується на основі інтегрального регулятора частоти, коефіцієнт якого встановлюється виходячи з бажаного характеру руху помилки.

Синтез контура струму

Налаштування контура струму зробимо на стандартний перехідний процес, відповідний фільтру Баттерворта 2-го порядку, швидкодія якого визначається малої некомпенсовані постійної часу $T_{кт}$.

Передавальна функція такого фільтру має вигляд.

$$H_B(p) = \frac{1}{2T_{кт}^2 p^2 + 2T_{кт} p + 1}. \quad (4.28)$$

Передаточна функція розімкнутого контура струму має вигляд:

$$H_{кс}^{роз}(p) = H_{pc}(p) \frac{k_{пч} k_{дс}}{R_s (T_{кс} p + 1)(T_s p + 1)}. \quad (4.29)$$

Прирівнюючи дані рівняння маємо:

$$H_{pc}^{роз}(p) = \frac{T_s p + 1}{(2T_{кс} k_{пч} k_{дс} / R_s) p} = k_p + \frac{k_i}{p}, \quad (4.30)$$

$$\text{де } k_p = \frac{\sigma L_s}{2T_{кс} k_{пч} k_{дс}}, \quad k_i = \frac{R_s}{2T_{кс} k_{пч} k_{дс}}.$$

Таким чином отримали ПІ-регулятор струму по осі q . Передаточна функція замкнутого контуру струму прийме вигляд:

$$H_{\text{кc}}(p) = \frac{1/k_{\text{дс}}}{2T_{\text{кc}}^2 p^2 + 2T_{\text{кc}} p + 1}. \quad (4.31)$$

Структурна схема приведена на рисунку 3.3.

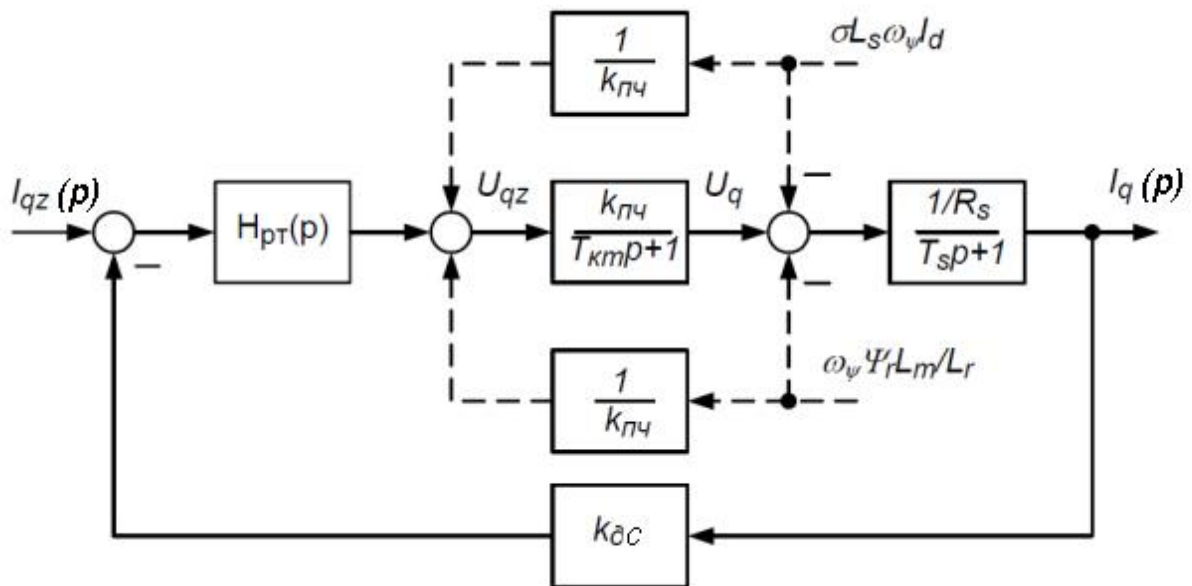


Рисунок 4.3 – Структурна схема контура струму по осі q

Регулятор струму I_d, I_q :

Фільтр Баттерворта 2-го порядку:

$$2T_{\text{кc}}^2 s^2 + 2T_{\text{кc}} s + 1. \quad (4.32)$$

Розрахункові відношення:

$$k_{\text{прс}} = \frac{\sigma L_s}{2T_{\text{кc}}}; \quad k_{\text{урт}} = \frac{R_s T_0 / 2}{2T_{\text{кт}}}. \quad (4.33)$$

Синтез регулятора ЕРС

Структурна схема контуру ЕРС представлена на рисунку 4.4, де $T_{\text{ке}}$ - мала некомпенсована постійна часу контура ЕРС.

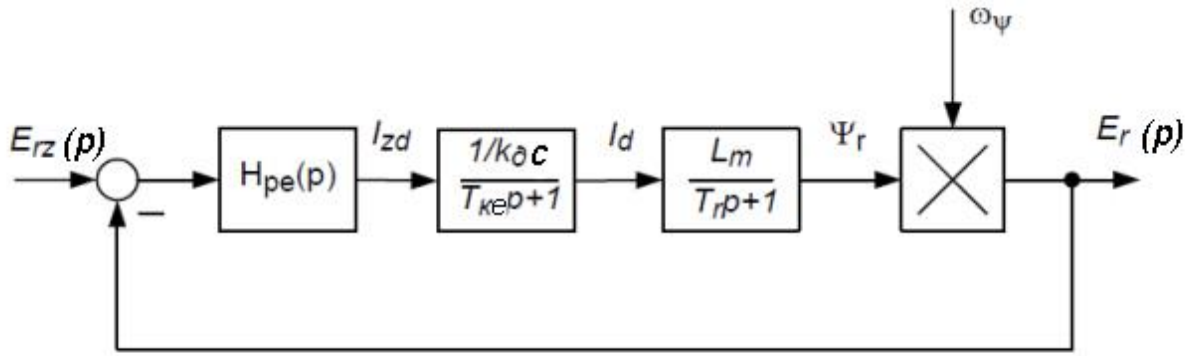


Рисунок 4.4 – Структурна схема контура ЕРС

Бажана передаточна функція розімкнутого контура ЕРС:

$$H_{\text{ж}}^{\text{роз}}(p) = \frac{1}{2T_{\text{ке}}p (T_{\text{ке}}p + 1)}. \quad (4.34)$$

Передаточна функція розімкнутого контура ЕРС при умові $\omega_{\psi} = \omega_{\psi \text{ max}}$:

$$H_{\text{ке}}^{\text{роз}}(p) = H_{\text{пе}}(p) \frac{L_{\text{т}} \omega_{\psi \text{ max}} / k_{\text{pc}}}{(T_{\text{ке}}p + 1)(T_{\text{r}}p + 1)}. \quad (4.35)$$

Прирівнюючи дані рівняння, отримаємо функцію регулятора ЕРС:

$$H_{\text{пе}}(p) = \frac{T_{\text{r}}p + 1}{(2T_{\text{ке}}L_{\text{м}}\omega_{\psi \text{ max}} / k_{\text{дс}})p} = k_{\text{ep}} + \frac{k_{\text{ei}}}{p}, \quad (4.36)$$

$$\text{де } k_{\text{ep}} = \frac{k_{\text{дт}}T_{\text{r}}}{2T_{\text{ке}}L_{\text{м}}\omega_{\psi \text{ max}}}, \quad k_{\text{ei}} = \frac{k_{\text{ом}}}{2T_{\text{ке}}L_{\text{м}}\omega_{\psi \text{ max}}}.$$

Регулятор проти-ЕРС

Фільтр Баттерворта 2-го порядку при $\omega_{\psi} = \omega_{\psi \text{ max}}$:

$$2T_{\text{ке}}^2s^2 + 2T_{\text{ке}}s + 1. \quad (4.37)$$

Розрахункові відношення:

$$k_{npe} = \frac{T_r}{2T_{ke} L_m \omega_{\psi \max}}; \quad k_{npe} = \frac{T_0 / 2}{2T_{ke} L_m \omega_{\psi \max}}. \quad (4.38)$$

Бездатчикове визначення швидкості

Для асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором рівняння, записані в векторній формі в нерухомій системі координат, мають вигляд:

$$\vec{U}_{s\alpha-\beta} = R_s \vec{I}_{s\alpha-\beta} + \frac{d\vec{\Psi}_{s\alpha-\beta}}{dt}; \quad (4.39)$$

$$0 = R_r \vec{I}_{r\alpha-\beta} + \frac{d\vec{\Psi}_{r\alpha-\beta}}{dt} - jZ_p \omega \vec{\Psi}_{r\alpha-\beta}; \quad (4.40)$$

$$\vec{\Psi}_{s\alpha-\beta} = L_s \vec{I}_{s\alpha-\beta} + L_m \vec{I}_{r\alpha-\beta}; \quad (4.41)$$

$$\vec{\Psi}_{r\alpha-\beta} = L_s \vec{I}_{s\alpha-\beta} + L_r \vec{I}_{r\alpha-\beta}. \quad (4.42)$$

Запишемо дані рівняння відносно векторів струму статора та потокозчеплення ротора, виразивши потокозчеплення ротора, отримаємо:

$$\vec{\Psi}_{r\alpha-\beta} = \frac{1}{p} \frac{L_r}{L_m} \left(\vec{U}_{s\alpha-\beta} - R_s \vec{I}_{s\alpha-\beta} - \sigma L_s \frac{d\vec{I}_{s\alpha-\beta}}{dt} \right). \quad (4.43)$$

Формула для визначення частоти обертання приймає вигляд:

$$\omega_{0_{er}} = \frac{d\Theta_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\arctg \frac{\Psi_{r\beta}}{\Psi_{r\alpha}} \right) = \frac{1}{1 + (\Psi_{r\beta} / \Psi_{r\alpha})^2} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Psi_{r\beta}}{\Psi_{r\alpha}} \right). \quad (4.44)$$

В кінцевому вигляді при введені позначення $p = d / dt$, формула для визначення частоти напруги живлення приймає вигляд:

$$\omega_{0\text{ел}} = \frac{\Psi_{r\alpha} p \Psi_{r\beta} - \Psi_{r\beta} p \Psi_{r\alpha}}{\Psi_{r\alpha}^2 + \Psi_{r\beta}^2}. \quad (4.45)$$

Для визначення швидкості, необхідно визначити значення частоти роторної ЕДС, яка розраховується за виразом:

$$\omega_p = k_r R_r I_{s\beta} / |\vec{\Psi}_r|. \quad (4.46)$$

Електромагнітний момент знаходимо за виразом:

$$M_d = (3/2) Z_p k_r |\vec{\Psi}_r| I_{s\beta}, \quad (4.47)$$

де $k_r = L_m / L_r$

Виразивши складову струму статора $I_{s\beta}$ і підставивши результат, маємо:

$$\omega_p = \frac{2 R_3 M_d}{3 Z_p |\vec{\Psi}_r|^2}. \quad (4.48)$$

Регулятор швидкості:

Фільтр Баттерворта 3-го порядку:

$$8T_{\text{кв}}^3 s^3 + 8T_{\text{кв}}^2 s^2 + 4T_{\text{кв}} s + 1 \quad (4.49)$$

Розрахункові відношення:

$$k_{\text{прс}} = \frac{J}{3Z_p T_{\text{кв}}}; \quad k_{\text{урс}} = \frac{JT_0 / 2}{12Z_p T_{\text{кв}}^2}. \quad (4.50)$$

Біноміальне розподілення 3-го порядку:

$$(3T_{\text{кс}}s + 1)^3. \quad (4.51)$$

Розрахункові відношення:

$$k_{\text{прс}} = \frac{2J}{9z_p T_{\text{кс}}}; \quad k_{\text{урс}} = \frac{JT_0}{81z_p T_{\text{кс}}^2}. \quad (4.52)$$

$$T_{\text{фільтра}} = 9T_{\text{кс}}$$

4.5 Розрахунок структурної схеми у відносних одиницях

Загальна формула переведення абсолютних величин:

$$y = \frac{Y}{Y_6}. \quad (4.53)$$

Переведення струму:

$$i_a = \frac{I}{I_6}. \quad (4.54)$$

Кутова швидкість:

$$n = \frac{\omega_n}{\omega_6}. \quad (4.55)$$

Потокозчеплення:

$$\psi = \frac{\Psi_{2\text{н}}}{\Psi_6}. \quad (4.56)$$

Переведення коефіцієнтів зворотних зв'язків здійснюється за формулою:

$$k' = K \cdot \frac{Y_{\text{вх.б}}}{Y_{\text{вих.б}}}. \quad (4.57)$$

Розрахунок коефіцієнтів:

$$k'_{\text{OCI}} = k_{\text{OC}} \cdot \frac{I_6}{U_{36}}; \quad (4.58)$$

$$k'_{\text{OIII}} = k_{\text{OIII}} \cdot \frac{\omega_6}{U_{36}}; \quad (4.59)$$

$$k'_{\text{OII}} = k_{\text{OII}} \cdot \frac{\Psi_6}{U_{36}}. \quad (4.60)$$

Розрахунок передавальних коефіцієнтів ланок структурної схеми в в.о.
Перетворювач:

$$k'_{\Pi} = k_{\Pi} \cdot \frac{U_{\text{BX.6}}}{U_{\text{ВИХ.6}}}. \quad (4.61)$$

Ланка електричної частини двигуна:

$$r_{1e} = \frac{R_{1e}}{R_6}. \quad (4.62)$$

Регулятор швидкості:

$$k' = \frac{T_j}{2 \cdot 2 \cdot T_{\Pi}}. \quad (4.63)$$

Інерційна постійна приводу:

$$T_j = \frac{\omega_6}{M_6} \cdot J_{\Sigma}. \quad (4.64)$$

Розрахунок моменту опору:

$$m = \frac{M_c}{M_6}. \quad (4.65)$$

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

5.1 Розрахунок параметрів для моделювання системи

Проведемо розрахунок параметрів та моделювання системи керування.
Використовуємо дані з таблиці 3.2.

Для створення моделі приймемо момент інерції $J_{\text{мех}}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$, механізму:

$$J_{\text{мех}} = 20 \cdot J_{\text{дв}};$$

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

$$J_{\Sigma} = J_{\text{мех}} + J_{\text{дв}};$$

Розрахунок базисних значень:

Амплітудне значення номінального фазного напруги обмотки статора,
,В:

 U_{ϕ}

$$U_{\phi} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{ф.н.}};$$

$$U_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,127.$$

Амплітудне значення номінального струму обмотки статора I_{ϕ} , А:

$$I_{\phi} = \sqrt{2} \cdot I_1;$$

Розрахунок проекції струмів, $I_{1\beta}$, $I_{1\alpha}$, А:

$$I_{1\alpha} = I_{\phi} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_s \cdot \sin \varphi + X_s \cdot \cos \varphi}{X_m} \right)^2 + \left(\frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_{\phi}}{I_{\phi}}}{X_m} \right)^2};$$

$$I_{1\alpha} = 10,465 \cdot \sqrt{\left(\frac{2,808 \cdot 0,3 + 2,721 \cdot 0,76}{65,095}\right)^2 + \left(\frac{2,721 \cdot 0,3 + 2,808 \cdot 0,76 - \frac{311,12}{10,465}}{65,095}\right)^2} = 4,331.$$

$$I_{1\beta} = I_{\delta} \cdot \sqrt{\left(\cos \varphi - \frac{-R_s \cdot \sin \varphi + X_s \cdot \cos \varphi}{X_m}\right)^2 + \left(-\sin \varphi - \frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_{\delta}}{I_{\delta}}}{X_m}\right)^2};$$

$$I_{1\beta} = 10,465 \cdot \sqrt{\left(0,76 - \frac{-2,808 \cdot 0,3 + 2,721 \cdot 0,76}{65,095}\right)^2 + \left(-0,3 - \frac{2,721 \cdot 0,3 + 2,808 \cdot 0,76 - \frac{311,13}{10,465}}{65,095}\right)^2} = 9,502.$$

Струм в каналі потокозчеплення двигуна $I_{1\alpha\delta}$, А:

$$I_{1\alpha\delta} = I_{1\alpha} = 4,331.$$

Струм в каналі швидкості двигуна, $I_{1\beta\delta}$, А:

$$I_{1\beta\delta} = k_{кр} \cdot I_{1\beta};$$

$$I_{1\beta\delta} = 2,2 \cdot 9,502 = 20,904.$$

Номінальна кутова частота напруги статора ω_{δ} , с-1 :

$$\omega_{\delta} = 2 \cdot \pi \cdot f_{с.н.};$$

$$\omega_{\delta} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,159.$$

Кутова частота обертання ротора, $\omega_{r.\delta}$, с⁻¹:

$$\omega_{r.\delta} = \frac{\omega_{\delta}}{z_p};$$

$$\omega_{r.\delta} = \frac{314,159}{4} = 78,5.$$

Електромагнітний момент, M_{δ} , Нм:

$$M_{\delta} = k_{кр} \cdot \frac{P_H}{\omega_{r.\delta}};$$

$$M_{\delta} = 2,2 \cdot \frac{3000}{157} = 42,038.$$

Потокозчеплення ротора Ψ_{26} , Вб :

$$\Psi_{26} = 0,207 \cdot 4,331 = 0,897;$$

$$\Psi_{26} = \Psi_2 = L_m \cdot I_{1\alpha 6}$$

Ланка електричної частини двигуна:

Сумарний активний опір фази двигуна R_{1e} , Ом:

$$R_{1e} = R_s + k_r^2 \cdot R_r = 2,808 + 0,9454^2 \cdot 1,731 = 4,355 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт передачі перетворювача по напрузі k_{Π} , В/А:

$$k_{\Pi} = \frac{U_6}{U_{н.3.}};$$

$$k_{\Pi} = \frac{311,126}{10} = 31,113 ;$$

Постійні часу T_2 , T_{1e} с:

$$T_2 = \frac{L_r}{R_r};$$

$$T_2 = \frac{0,219}{1,731} = 0,127 .$$

$$T_{1e} = \sigma \cdot \frac{L_s}{R_{1e}};$$

$$T_{1e} = 0,093 \cdot \frac{0,216}{4,355} = 0,00461.$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку за потоком $k_{O.\Pi.}$, В/Вб:

$$k_{O.\Pi.} = \frac{U_{н.3.}}{\Psi_{26}};$$

$$k_{O.\Pi.} = \frac{10}{0,897} = 11,148.$$

Стала часу регулятора швидкості, T_{II1} , с:

$$T_{II1} = \frac{k_{O.C.1} \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot k_{\Pi}}{R_{1e}};$$

$$T_{II1} = \frac{1,088 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 31,113}{4,355} = 0,016.$$

Передаточна функція регулятора швидкості $W_{PII}(p)$:

$$W_{PII}(p) = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{T_{II1} \cdot p};$$

$$W_{PII}(p) = \frac{0,00461 \cdot p + 1}{0,016 \cdot p}.$$

Стала часу регулятора ЕДС T_{EI2} , с:

$$T_{EI2} = \frac{k_{O.C.2} \cdot 2 \cdot T_{II} \cdot k_{II}}{R_{1e}};$$

$$T_{EI2} = \frac{0,121 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 31,113}{4,355} = 0,017.$$

Передаточна функція регулятора ЕДС, $W_{PE2}(p)$:

$$W_{PE2}(p) = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{T_{II2} \cdot p};$$

$$W_{PE2}(p) = \frac{0,00461 \cdot p + 1}{0,017 \cdot p}.$$

Стала часу регулятора потоку T_{III} , с:

$$T_{III} = \frac{k_{O.II} \cdot 4 \cdot T_{II} \cdot L_m}{k_{O.C.1}};$$

$$T_{III} = \frac{11,148 \cdot 4 \cdot 0,001 \cdot 0,207}{1,088} = 0,00848.$$

Передаточна функція регулятора потоку, $W_{PI}(p)$:

$$W_{PI}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{III} \cdot p};$$

$$W_{PI}(p) = \frac{0,127 \cdot p + 1}{0,00848 \cdot p}.$$

Розрахунок передаточної функції регулятора швидкості W_{PII} :

$$W_{PII}(p) = k_{PII} = \frac{k_{O.II} \cdot k_{O.T} \cdot J_{\Sigma}}{3 \cdot Z_p \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_{II} \cdot k_{O.C.}};$$

$$W_{PII}(p) = \frac{10,987 \cdot 0,121 \cdot 0,44}{3 \cdot 2 \cdot 0,961 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 0,064} = 793.$$

Після розрахунку всіх величин, що входять в структурну схему, необхідно ввести їх у модель векторної системи керування. Зробимо моделювання векторної системи керування. На рисунку 5.1. представлена модель системи.

5.2 Аналіз чутливості електроприводу до зміни параметрів двигуна і затримок перемикання інвертора

Структурна схема математичної моделі представлена на рисунку 5.1.

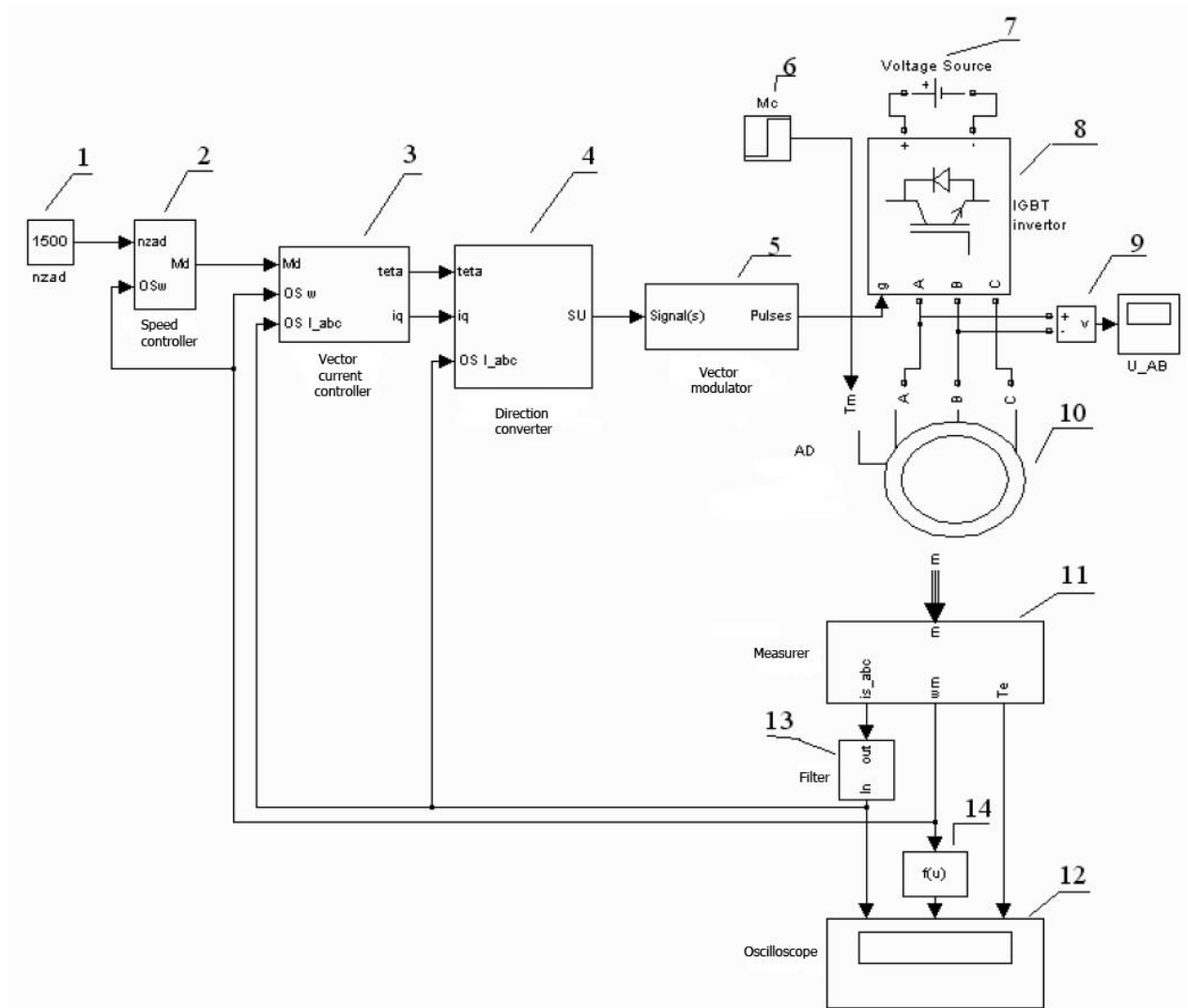


Рисунок 5.1 - Структурна схема математичної моделі адаптивно-векторної системи керування асинхронними ЕП

Структурна схема математичної моделі складається з: 1 - пристрій завдання частоти обертання ротора АД; 2 - регулятор швидкості; 3 - векторний регулятор

струмів; 4 - перетворювач напруги; 5 - векторний модулятор; 6 - пристрій завдання статичного моменту навантаження АД; 7 - джерело живлення; 8 - керований IGBT інвертор; 9 - вольтметр; 10 - асинхронний двигун; 11 - вимірювальний пристрій; 12 - осцилограф, що показує криві зміни частоти обертання ротора та струму статора АД у часі; 13 - фільтр струму статора; 14 - функціональний блок.

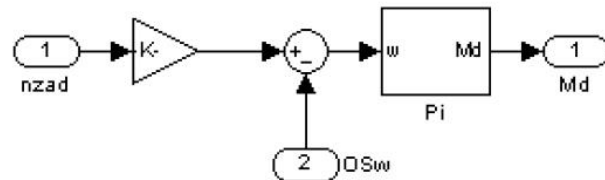


Рисунок 5.2. – Структура моделі регулятора швидкості

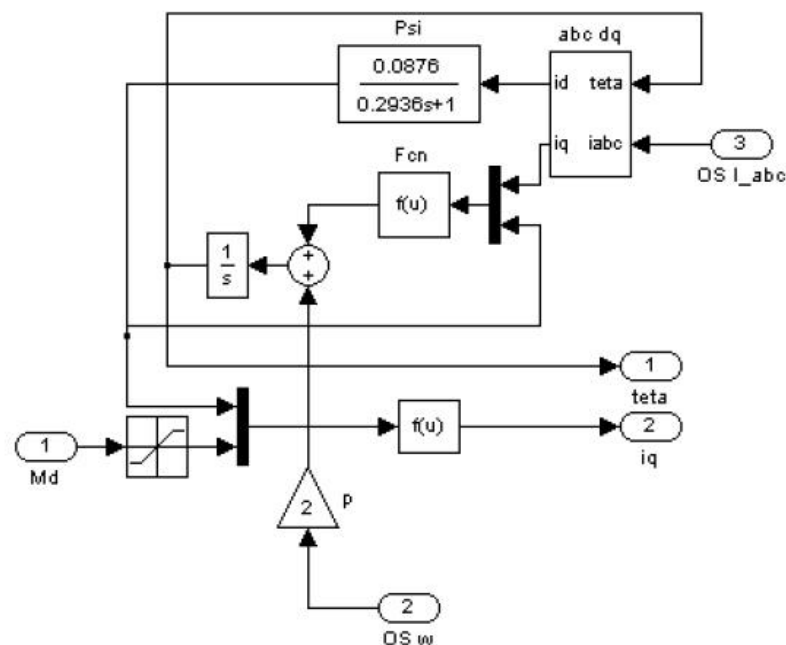


Рисунок 5.3 – Структура моделі векторного регулятора струму

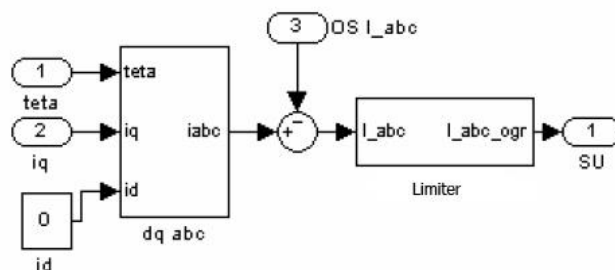


Рисунок 5.4 – Структура моделі перетворювача напруги

На рисунку 5.5 показано вплив відхилень R_s , L_m , R_r на похибку обчислення швидкості

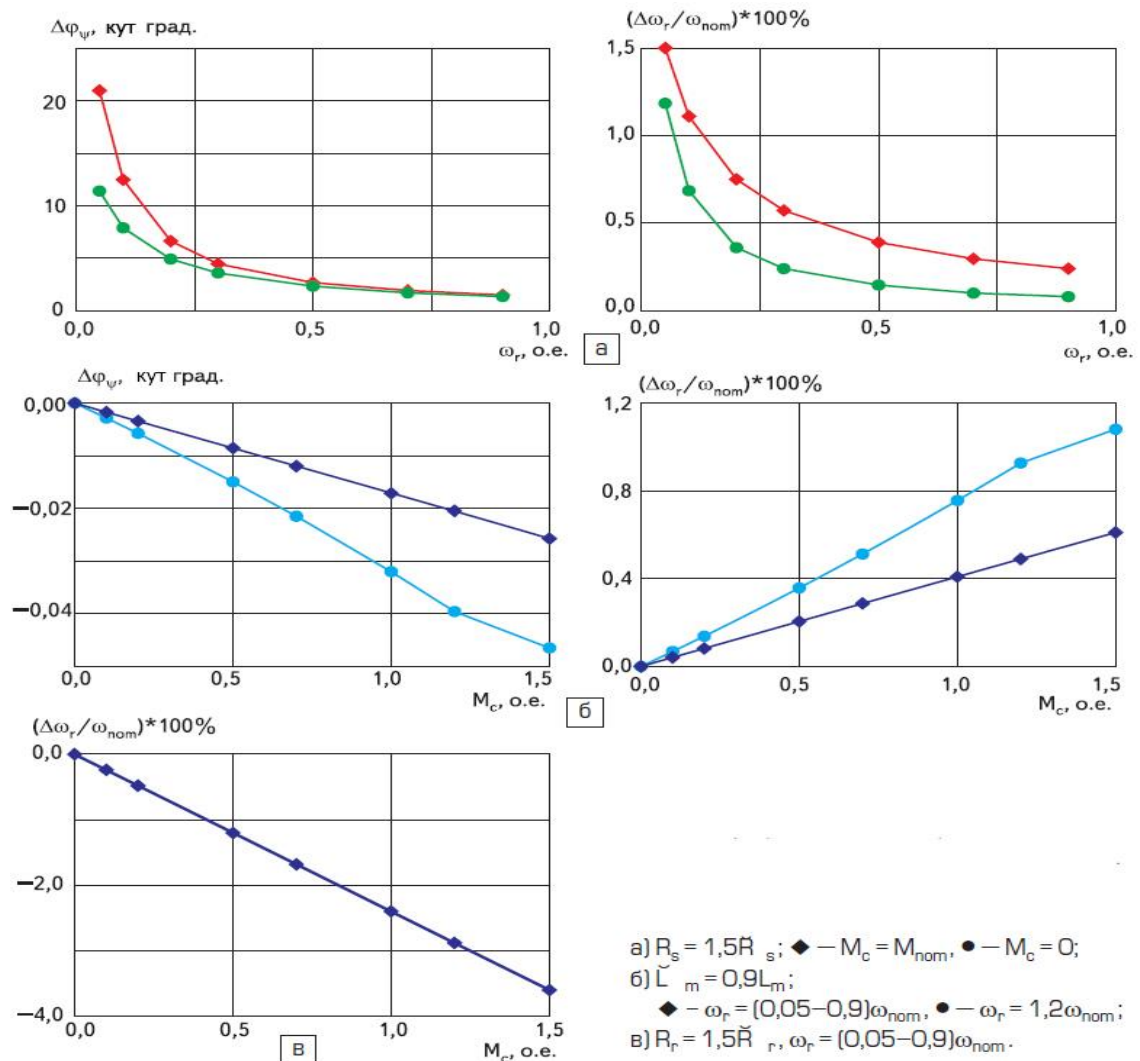


Рисунок 5.5 - Графіки помилок в орієнтації системи керування і обчислення швидкості при варіації параметрів двигуна, рівня швидкості та навантаження.

Аналіз чутливості виконувався щодо електромагнітних параметрів двигуна, найбільш схильних зміні в процесі роботи приводу. До таких параметрів належать активні опори фаз статора і ротора, схильні до температурних змін, і взаємна індуктивність, що змінюється у зв'язку з ефектом насичення магнітної системи двигуна потоком взаєміндукції. Для аналізу використовувалася математична модель електроприводу з базовою структурою системи бездатчикового векторного керування.

$\Delta \omega_r = \omega_r - \tilde{\omega}_r$ і кутового положення вектора потокозчеплення ротора $\Delta \varphi_\psi = \varphi_\psi - \tilde{\varphi}_\psi$ до електроприводу з двигуном 4A112MA6УЗ. Значення відхилень параметрів обрані такими, що цілком можуть зустрічатися в робочих режимах приводу, а саме 50 % -ве збільшення активних опорів двигуна щодо їх значень, отриманих в холодному стані, і 10 %-ве збільшення взаємної індуктивності, викликане ослабленням поля щодо його стану в номінальному режимі. На рисунку 5.6 для того ж двигуна показано вплив відхилень у активному опорі статора на динамічні процеси відпрацювання ступеневої зміни сигналу завдання за швидкістю.

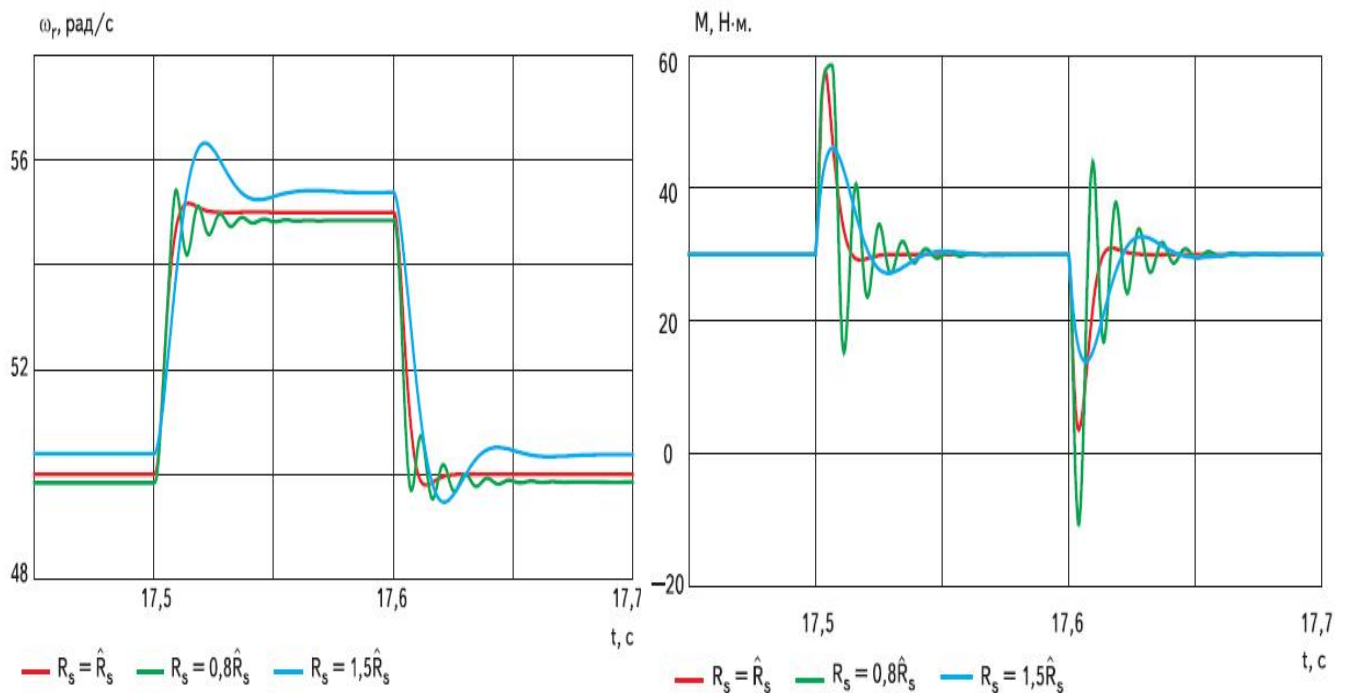


Рисунок 5.6 – Часові діаграми швидкості момента в режимі ступінчастого скидання/накидання задання по швидкості з рівня 50 рад/с до рівня 55 рад/с, отриманні при варіаціях R_s

На рисунках 5.7, 5.8 показані динамічні процеси в режимах реверсу та пуску двигуна та процеси в режимі ступінчаного накидання номінального момента навантаження на швидкості.

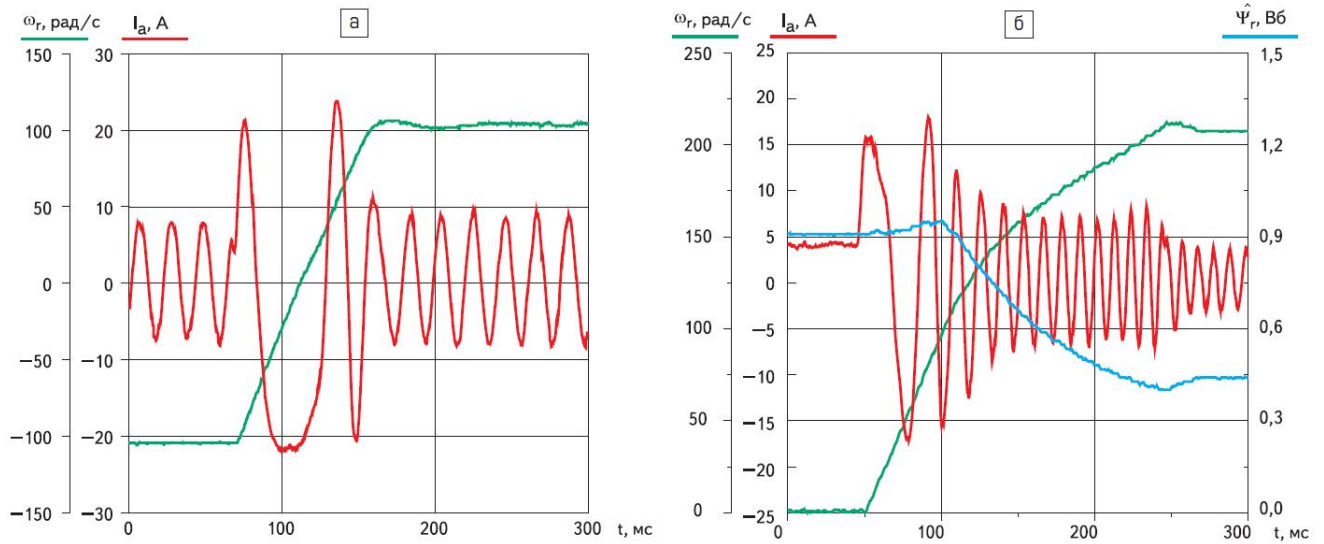


Рисунок 5.7 – Динамічні процеси в режимах реверса та пуску двигуна:

а) швидкість та струм фази А статора при реверсі швидкості $\omega_r = \omega_{nom}$;

б) швидкість, струм фази А статора, модуль оцінки потокозчеплення ротора при пуску на швидкість $\omega_r = 2\omega_{nom}$.

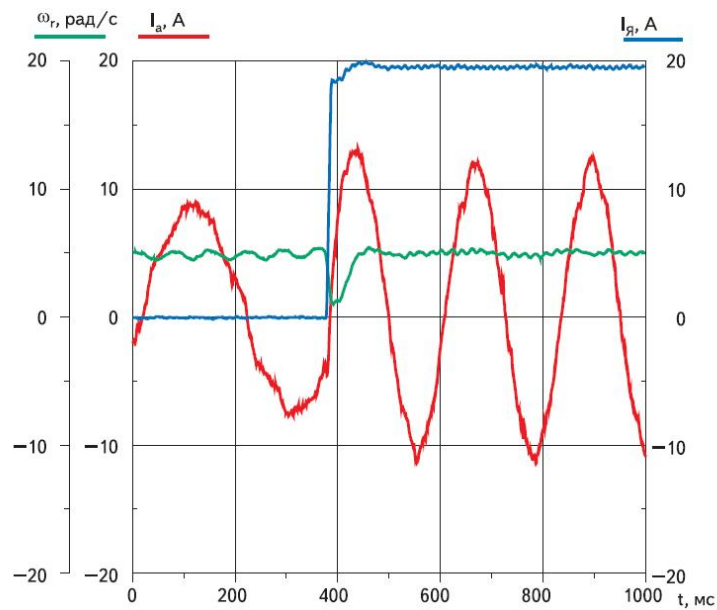


Рисунок 5.8 – Процеси в режимі ступінчатого накидання номінального моменту навантаження на швидкості $\omega_r = 0,05\omega_{nom}$

5.3 Побудова перехідних процесів системи

5.3.1 Режим «Пуск»

Криві, що характеризують динаміку роботи системи адаптивно - векторного керування асинхронним електроприводом в режимі «ПУСК», представлені на рисинку 5.9.

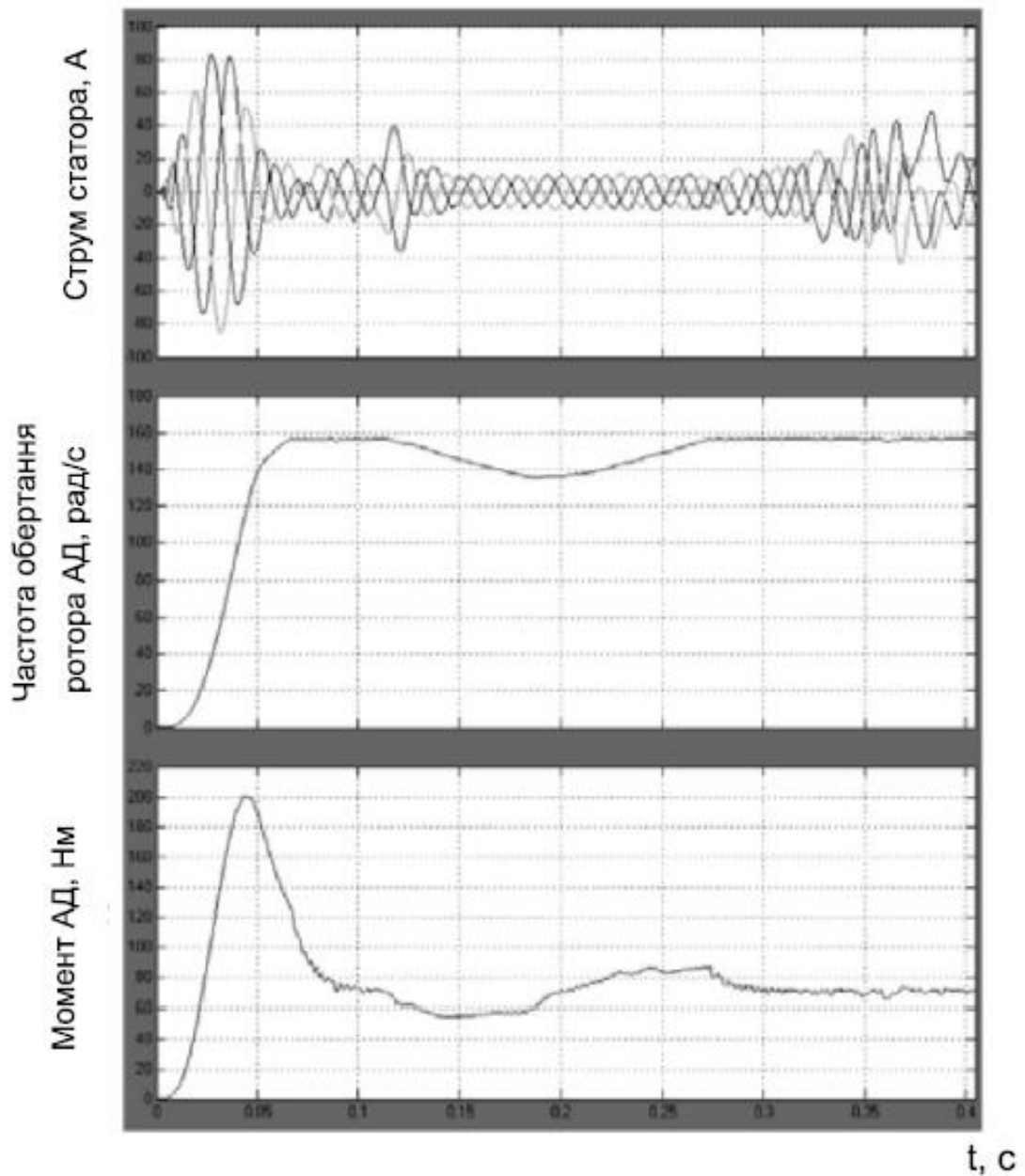


Рисунок 5.9 - Динаміка роботи системи адаптивно-векторного керування асинхронним електроприводом в режимі «ПУСК»

Як видно з рисунка 5.9 в початковий момент часу безпосередньо при пуску двигуна, спостерігається різкий скачок струму статора. Для полегшення пуску двигуна момент навантаження необхідно подавати на розігнаний двигун.

5.3.2 Режим зміни сигналу завдання швидкості

Досліджуємо дану систему на придатність відпрацювання змінюючого в часі сигналу завдання частоти обертання АД. Криві, що характеризують динаміку даного режиму роботи, і сигнал завдання представлені на рисунку 5.10.

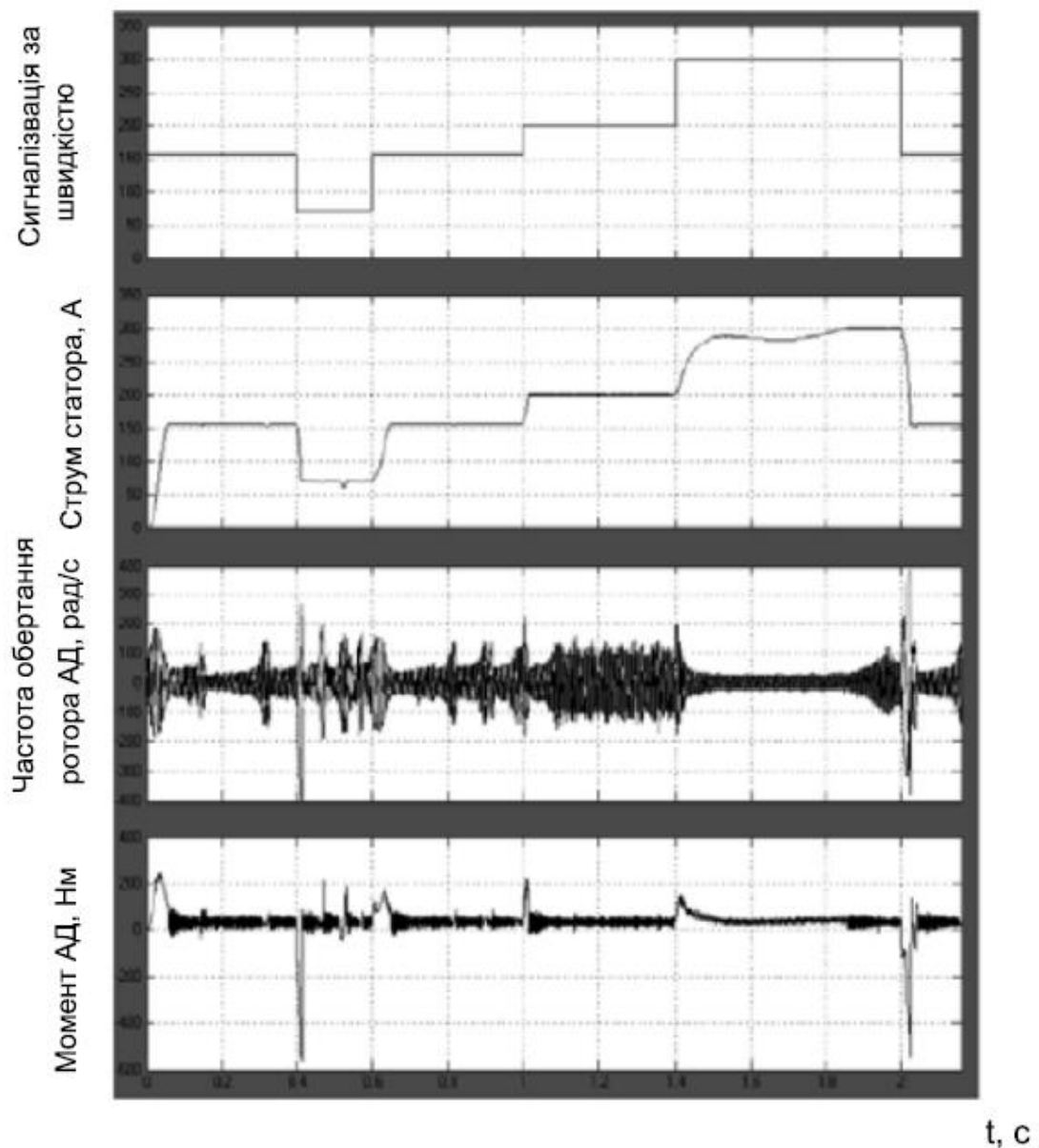


Рисунок 5.10 – Криві характеризуючі динаміку роботи привода

З нього випливає, що система повністю відпрацьовує сигнал завдання, дозволяє швидко регулювати частоти обертання вала двигуна. Так само система передбачає можливість короточасного перевищення частоти обертання вала двигуна над номінальним значенням.

5.3.3. Режим «Перевантаження»

Крива зміни моменту навантаження і динаміка режиму «перевантаження» показана на рисунку 5.11.

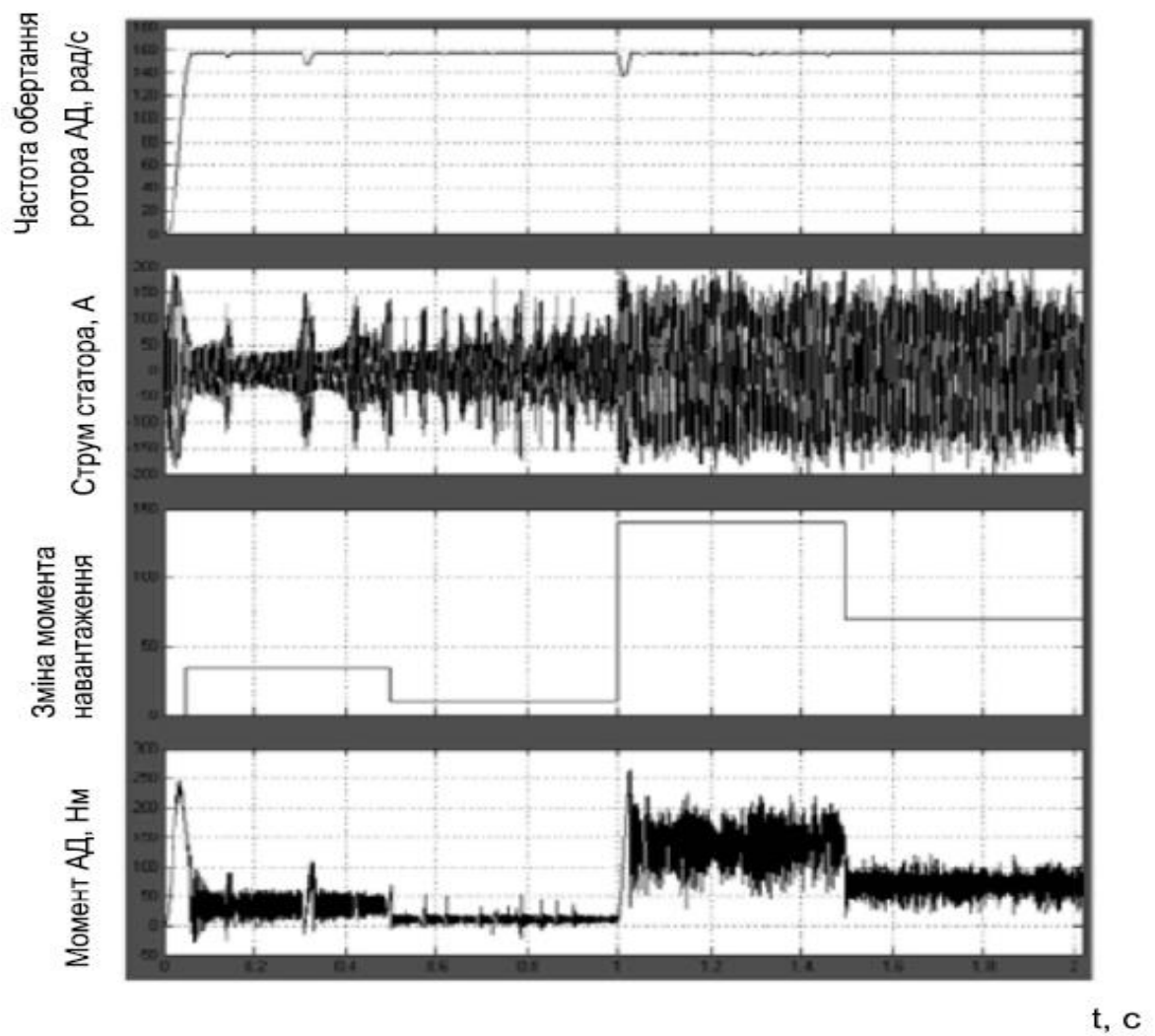


Рисунок 5.11 – Робота ЕП в режимі «Перевантаження»

При використанні адаптивно - векторної системи керування допускається короточасні перевантаження.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ

Основою законодавства України з охорони праці є Конституція України, що гарантує громадянам право на безпечні та здорові умови праці та система законодавчих актів України, спрямованих на реалізацію цього конституційного права.

Основними законодавчими актами цієї системи є наступні Закони України:

- «Про охорону праці».
- «Про охорону здоров'я».
- «Про пожежну безпеку».
- «Про обов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності».
- «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист».
- «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення».
- «Про цивільну оборону».
- Кодекс законів «Про працю України».

У наведеній вище системі законодавчих актів основна роль відводиться Закону «Про охорону праці» (редакція від 2002 р.). Цей закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства і працівником з питань безпеки праці, виробничої санітарії, встановлює єдиний порядок організації охорони праці у виробничій сфері в Україні.

Дія Закону України «Про охорону праці» поширюється на всі підприємства, установи, організації незалежно від форм власності та видів діяльності, які використовують найману працю, та на всіх працюючих.

Закон визначає основні принципи державної політики в галузі охорони праці, серед яких головне місце займають:

- пріоритет життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність власника підприємства щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- соціальний захист працівників;
- повне відшкодування шкоди особам, потерпілим на виробництві від нещасних випадків або професійних захворювань.

Окремо виділені статті Закону, присвячені регулюванню охорони праці жінок, неповнолітніх, інвалідів, видів відповідальності за порушення законодавства та нормативних актів про охорону праці, за створення перешкод для діяльності посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці та представників профспілок.

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Як відомо, умови роботи людини визначаються сукупністю різних факторів, невід'ємною частиною яких є санітарно-гігієнічні умови праці. Таким чином, особливості виробничого середовища можуть і негативно впливати на стан здоров'я і працездатності працюючих. Такі особливості виробничого середовища або робочого місця називаються професійною шкідливістю .

Комплекс шкідливих виробничих факторів класифікується за природою дії на організм людини на наступні групи:

- 1 - фізичні;
- 2 - хімічні;
- 3 - біологічні;
- 4 - психофізичні.

Фізичні шкідливі виробничі фактори - підвищена запиленість, загазованість повітря робочої зони, його підвищена або знижена температура, тиск, відносна вологість, швидкість руху повітря, недостатня або надмірна освітленість робочої зони, підвищені рівні електромагнітних полів (ЕМП), іонізуючих випромінювань (ІВ), шуму, вібрації, інфразвукових, ультразвукових коливань, підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини, та ін.

Перераховані фактори цієї підгрупи можуть викликати різні захворювання:

- запиленість повітря - захворювання органів дихання (так звані пневмоконіози), астму, ураження шкірних і слизових оболонок;
- підвищена або знижена температура повітря - теплові удари, обмороження, порушення обміну речовин, зневоднення організму;
- підвищений або знижений тиск - кесонна хвороба, яка полягає в перенасичення тканин організму людини азотом при підвищеному тиску і проявляється в ломота в тілі, запаморочення, розлад координації рухів і т. п.;
- підвищена або знижена відносна вологість повітря – простудні захворювання;
- недостатня або надмірна освітленість - розвиток короткозорості, зниження гостроти зору;
- підвищений рівень шуму, вібрації - зниження слуху, неврози, розвиток вібраційної хвороби (порушення кровообігу, поява болю в кінцівках, зниження температурної, больової чутливості) і т. д.

Хімічні шкідливі виробничі фактори - загальнотоксичні, дратівливі, канцерогенні, сенсibiliзуючі та ін. (ацетон, бензин, масла і т. п.).

Ця група негативних виробничих факторів може приводити до загального отруєння організму людини, ураження слизових оболонок або шкірного покриву, викликати онкологічні захворювання, підвищення реакційної здатності клітин живих тканин тіла людини та ін.

Психофізичні шкідливі виробничі фактори підрозділяють, у свою чергу, на дві підгрупи: фізичні перевантаження і нервово-психічні перевантаження.

До фізичних перевантажень відносяться статичні, динамічні перевантаження, гіподинамія. До нервово-психічних – розумове перенапруження, монотонність праці, емоційні перевантаження.

На ділянці роботи з верстатом основними чинниками, які впливають на самопочуття і здоров'я людей, є наступні:

- небезпека ураження електричним струмом;
- травматизм;
- шкідливі впливу шуму та вібрацій;
- параметри мікроклімату;
- небезпека виникнення пожежі;
- недостатнє або надмірне освітлення;
- запиленість приміщення.

Через велику кількість електричних пристроїв на ділянці роботи оператора, умови праці можна віднести за ступенем ураження електричним струмом до категорії приміщень з підвищеною небезпекою.

Електричний струм, що протікає через тіло людини, призводить до виникнення в ньому таких основних процесів:

- безпосереднє роздратування і збудження живих тканин (м'язів, нервових волокон, серцево-судинної системи). Цей процес можливий у тому випадку, коли шлях протікання струму пролягає безпосередньо через живі тканини організму людини;
- рефлекторне (непряме) збудження тканин, що є наслідком дії електричного струму на ЦНС;
- посилення процесу збудження тканин, виникнення неадекватних і недоцільних команд центральної нервової системи в результаті накладення електричного струму на процеси поширення біострумів;
- перетворення електричної енергії в теплову при проходженні електричного струму через живі тканини, які характеризуються певним електричним опором.

В результаті цього, протікання електричного струму через організм людини являє собою складний процес, який супроводжується значним спектром фізико-біологічних і хімічних реакцій, основними з яких є термічна, електролітична, механічна та біологічна.

Травма - порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок дії небезпечних виробничих факторів. На виробництві травми (нещасні випадки) головним чином стаються внаслідок непередбаченої дії на робітника небезпечного виробничого фактору при виконанні ним своїх трудових обов'язків.

Механічні та фізичні фактори переважно викликають травми. Теплові, хімічні, біологічні та психофізіологічні у більшості випадків зумовлюють захворювання. Однак, різкої межі за характером дії на організм людини між згаданими факторами немає.

Шум являє собою сукупність звукових хвиль. Звукові хвилі - це коливальні зміни тиску повітря - скупчення та розрідження. Фізичними характеристиками звукових хвиль є: інтенсивність, спектр та часові характеристики.

Шуми турбують, дратують людину і можуть спричинити шкоду здоров'ю. Захисна реакція людини на шум зумовлена виникненням надмірних процесів збудження або гальмування в центральній нервовій системі (ЦНС).

Велика кількість звукових сигналів, що поступають до кори головного мозку, викликають переживання, страх, передчасну втому. Дія шуму на людину виражається в широкому діапазоні - від суб'єктивного роздратування до об'єктивних змін в ЦНС, органах слуху, серцево-судинних та ендокринній системах, травному акті та інших органів і систем. Першим показником шкідливої дії шуму є скарги на роздратованість, переживання, порушення сну.

Вібрація - механічні коливання, що виникають у пружних тілах та передаються на тіло людини.

Залежно від тривалості, інтенсивності дії, частоти, а також умов праці вібрація спричиняє стійкі патологічні зміни в нервовій системі (порушення процесів

збудження та гальмування), опорно-руховому апараті (деформація суглобів, втрата сили м'язів) та кровоносній системі (звуження або розширення периферійних судин).

Особливо небезпечними для людини є коливання з частотою 4-8 Гц, що збігаються з власною частотою коливань ряду внутрішніх органів, які пружно закріплені на скелеті (серце, печінка, нирки та ін.), і близько 30 Гц (частота власних коливань тіла людини).

Найбільш шкідливим для людини є одночасний вплив вібрації, шуму та низької температури, а оскільки у виробничих умовах шум та вібрація є супутниками, то їхній спільний вплив може призвести до професійного захворювання - віброшумової хвороби. Ця хвороба тяжко піддається лікуванню і може стати причиною інвалідності. Особливо небезпечною ця хвороба є для жінок через ризик втрати репродуктивної функції.

Параметри мікроклімату - температура, вологість та рух повітря- належать до числа найбільш значних, що встановлюють комфорт в приміщенні. Вплив на людину тих чи інших факторів створює різноманітні умови теплообміну організму з навколишнім середовищем та забезпечує певне функціональне теплове становище. Мікрокліматичні фактори впливають на репарацію ДНК, на активність генів теплового шоку.

Температура повітря дуже впливає на самопочуття людини і продуктивність праці. Висока температура повітря (30-35°C) у виробничих приміщеннях при збереженні інших параметрів викликає швидко стомлюваність працівника, перегрів організму та сильне потовиділення.

У важких випадках при підвищеній температурі навколишнього повітря настає тепловий, а при роботі на відкритому повітрі — сонячний удар. Можлива судомна хвороба, яка є наслідком порушення водно-сольового балансу і характеризується слабкістю, головним болем, різкими судомами, переважно в кінцівках.

Інтенсивне потовиділення (до 6-10 л за зміну) при роботі в умовах впливу

високої температури повітря (гарячі цехи) призводить до зневоднювання організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів (С, В1, В2). При важкій роботі в умовах високої температури може виділитися з потом до 50-60 г солі NaCl замість 10 г у нормальних умовах (усього в організмі людини міститься близько 140 г NaCl).

Можлива дія на організм і зниженої температури повітря. У неопалюваних робочих приміщеннях у прохолодну пору року. Тривалий і сильний вплив низьких температур може викликати різні несприятливі зміни в організмі людини. Місцеве і загальне охолодження організму є причиною багатьох захворювань: міозитів, невритів, радикулітів, а також застудних захворювань. Будь-який ступінь охолодження призводить до зниження частоти серцевих скорочень і розвитку процесів гальмування в корі головного мозку, що веде до зниження працездатності. При переохолодженні тіла до $+24^{\circ}\text{C}$ настає смерть.

Вологість дуже впливає на організм людини, на його терморегуляцію. Надлишкова вологість (понад 80%) ускладнює випаровування вологи з поверхні шкіри. Це може призвести до погіршення загального стану і зниження працездатності людини. Підвищена вологість повітря (понад 75-85%) у сполученні з низькими температурами чинить значний охолоджуючий вплив, а в поєднанні з високими викликає перегрівання організму. Знижена відносна вологість (нижче 18-20%) також є несприятливою для людини, оскільки призводить до висихання слизових оболонок і зниження захисної функції верхніх дихальних шляхів.

Швидкість повітря на робочих місцях у виробничих приміщеннях має велике значення для створення сприятливих умов праці. Треба зазначити, що організм людини починає відчувати повітряні потоки при швидкості близько 0,15 м/с. Причому якщо ці повітряні потоки мають температуру до 36°C , вони освіжають людину, а при температурах вище 40°C - пригнічують. У зимовий час швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,2...0,5 м/с, а влітку 0,2... 1,0 м/с. У гарячих цехах допускається збільшення швидкості обдуву робітників (повітряне душення) до 3,5 м/с.

Освітлення впливає не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в

цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. Відомий сприятливий вплив природного освітлення на скелетну мускулатуру.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, погіршує гостроту зору, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

Пил різного походження, що утвориться внаслідок механічної дії на тверді тіла подрібненням, розмелюванням, розтиранням, при завантажувально-розвантажувальних, вибухових, зварних, земляних та інших роботах, згубно діє на органи дихання, очі і шкіру людини. Пил класифікується за ступенем дисперсності, за речовиною, шкідливістю для організму, вибухонебезпечністю.

За характером дії на організм людини пил поділяється на подразнюючий і токсичний. Проникаючи в легені і лімфатичні залози, він спричинює захворювання - пневмоконіоз, силікоз. Може проявлятися механічна дія пилу у вигляді шкірних гноячкових захворювань і подразнення слизових оболонок очей - кон'юнктивіт.

6.2 Розрахунок загального освітлення

В даному розділі проведений розрахунок загального освітлення трюмів, довжина якого $A = 10$ м, ширина $B = 7$ м, висота $H = 3$ м, висота робочої поверхні $h_p = 0,8$ м. Будівля з темною робочою поверхнею, напруга мережі 220 В.

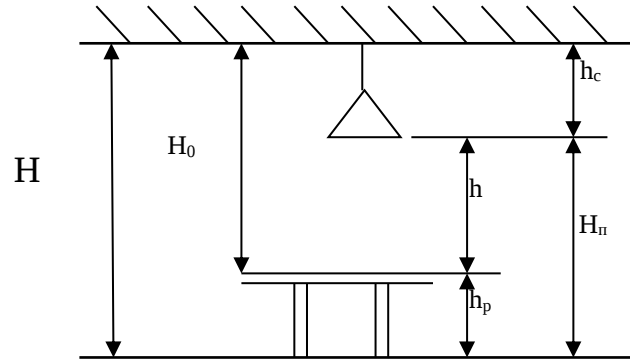


Рисунок 6.1 - Розміщення світильників

Вибираємо тип світильника з люмінесцентною лампою - ПВЛМ.

Знаходимо відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_0 = H - h_p = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Від стелі до світильника:

$$h_c = (0,2 \dots 0,25) \cdot H_0 = 0,2 \cdot 2,2 = 0,44 \text{ м}$$

Від світильника до освітлюваної поверхні:

$$h = H_0 - h_c = 2,2 - 0,44 = 1,76 \text{ м}$$

Висота підвісу світильника над підлогою:

$$H_{\text{п}} = h + h_p = 1,76 + 0,8 = 2,56 \text{ м}$$

Відстань між центрами світильників:

$$L = 1,6 \cdot h = 2,8 \text{ м}$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{10 \cdot 7}{(2,8)^2} = 8,93 \approx 9$$

Оптимальне число рядів:

$$\frac{B}{L} = \frac{7}{2,8} = 2,5 \approx 3$$

Приймаємо 3 ряди , тобто 2 відстані:

$$2 \cdot L = 2 \cdot 2,8 = 5,6 < B$$

Знаходимо кількість світильників в одному ряду:

$$\frac{A}{L} = \frac{10}{2,8} = 3,57 \approx 4$$

Приймаємо 4 світильника, тобто 3 відстані:

$$3 \cdot L = 3 \cdot 2,8 = 8,4 < A$$

Кількість світильників: $3 \cdot 4 = 12$ шт.

Відстань від стіни до центру світильника:

$$l = (0,25 \dots 0,3) \cdot L = 0,3 \cdot 2,8 = 0,84$$

$$l = (0,4 \dots 0,5) \cdot L = 0,4 \cdot 2,8 = 1,12$$

Індекс приміщення:

$$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B)) = (10 \cdot 7) / (1,76 \cdot (10 + 7)) = 2,34$$

Коефіцієнти відбиття: $\rho_{ст} = 70\%$, $\rho_c = 50\%$, $\rho_p = 10\%$.

Для світильника ПВЛМ коефіцієнт використання світлового потоку при $i = 2,34$, $\rho_{ст} = 70\%$, $\rho_c = 50\%$, $\rho_p = 10\%$:

$$\eta = 62 \% = 0,62$$

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_p = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta \cdot n} = \frac{300 \cdot 70 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,62 \cdot 2} = 2330 \text{ лм}$$

По знайденому світловому потоку вибираємо лампу потужністю 40 Вт, що має світловий потік 2200 лм, близьке до розрахункового: ЛДЦ – 40.

Фактичне освітленість :

$$E_\phi = E_{min} \cdot \frac{\Phi_\phi}{\Phi_p} = 300 \cdot \frac{2200}{2330} = 283 \text{ лк}$$

Загальна потужність освітлювальної установки :

$$P_{общ} = P_\phi \cdot N \cdot n = 40 \cdot 12 \cdot 2 = 0,96 \text{ кВт}$$

6.3 Заходи безпеки та охорони праці

На ділянці роботи верстата відповідно до СніП П-5-79, ГОСТ 12.1.005-88, встановлені наступні оптимальні параметри мікроклімату:

- температура повітря 22-25 °С;
- відносна вологість 40-60 %;

- швидкість переміщення повітря - 0.3м / с.

Для забезпечення цих норм на ділянці передбачена природна вентиляція, яка здійснюється через відкриті створки світлових ліхтарів. У приміщенні також встановлено опалення, яке проектується з умови спільної дії з вентиляцією. Вентиляція повинна задовольняти вимогам ГОСТ 12.1.005-88.

Залежно від джерела світла, виробниче освітлення може бути двох видів: природне і штучне.

З метою виключення небезпеки ураження електричним струмом на ділянці необхідно передбачити наступні заходи:

- покриття струмоведучих частин і відділення їх один від одного шаром діелектрика, що забезпечує протікання струму по необхідному шляху і безпечну експлуатацію установки;
- застосування захисних заземлень;
- застосування захисних відключень;
- наявність захисних діелектричних килимків біля приладів керування установкою.

Крім того на ділянці, при роботі верстату створюється значний рівень шуму, допускаємі рівні шуму, тобто звукового тиску в ізольованих приміщеннях, вказані в ГОСТ 12.1.008-83.

Технічні засоби захисту від шкідливого впливу шуму припускають використання трьох головних напрямків:

- а) усунення причин виникнення шуму або зниження його рівня в джерелі;
- б) ослаблення шуму на шляху його поширення;
- в) індивідуальний захист працюючих.

Одним з найбільш простих рішень щодо зниження шуму на шляху його поширення є застосування звукоізолюючих кожухів – звуко-відбиваючих або звукопоглинальних.

Звуко-відбиваючі кожухи забезпечують зниження рівня звуку за рахунок високого коефіцієнта відбиття. Такі кожухи можуть знизити рівень звукового тиску на 20 ... 25 дБ.

Звукопоглинаючі кожухи забезпечують зменшення звуку за рахунок перетворення кінетичної енергії звукових хвиль у теплову при коливанні малих об'ємів повітря в порах звукопоглинального матеріалу. Такі кожухи можуть знизити рівень звукового тиску на 20 ... 30 дБ.

Рівень вібрації на ділянці верстата не перевищує норм встановлених за ГОСТ 121.012-78.

За організаційною ознакою заходи і засоби захисту від вібрації поділяють на заходи індивідуального та колективного захисту.

Заходи колективного захисту відношенні до джерела виникнення вібрації поділяються на:

- зниження параметрів вібрації впливом на джерело виникнення;
- зниження інтенсивності вібрації на шляху її поширення від джерела виникнення.

Вплив на джерело виникнення вібрації зводиться до зміни: конструктивних елементів джерела вібрації; характеру сил і моментів, обумовлених робочим процесом у машині, що викликають вібрацію. Використовують також методи зрівноважування окремих деталей, вузлів машин і механізмів; відбудови за частотою робочого режиму обладнання від діапазону резонансних явищ.

На шляху поширення вібрації знижують за рахунок таких технічних рішень:

- використання додаткових пристроїв, вбудованих в конструкцію машини;
- застосування покриття, що демпфує вібрацію;
- використання антифазних синхронізацій джерел вібрації.

Індивідуальні засоби захисту від впливу вібрації за місцем контакту оператора з віброуючим об'єктом поділяються на такі види:

- для рук оператора - рукавиці або рукавички з віброгасильними долонями; віброгасильні вкладиші;

- для ніг оператора - спеціальне взуття з віброгасильною підошвою, віброгасильні наколінники;

- для тіла оператора - віброгасильні нагрудники, пояси, спеціальні костюми.

Згідно ГОСТ 12.1.004-85 пожежна безпека - це стан об'єкта , при якому виключається можливість пожежі, а у разі її виникнення запобігається вплив на людей шкідливих і небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Небезпечними факторами пожежі є:

- відкритий вогонь та іскри;
- підвищена температура повітря, предметів і т. п.;
- токсичні продукти горіння;
- дим;
- знижена концентрація кисню;
- обвалення і пошкодження будівель, споруд, установок;
- вибухи.

До основних протипожежних заходів відносяться:

- зонування території підприємства;
- дотримання протипожежних розривів;
- пристрій протипожежних перешкод;
- забезпечення шляхів евакуації.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини - невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Охорона навколишнього середовища регулюється наступними законодавчими документами:

- Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»
- Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16 жовтня 1992 року № 2707-XII (В редакції Закону № 2556-III (2556-14) від 21.06.01);
- ГОСТ 17.1.3.13-86 Охорона природи. Гідросфера. Загальні вимоги до охорони поверхневих вод від забруднення.
- ГОСТ 17.2.1.01-76 Охорона природи. Атмосфера. Класифікація викидів за складом.
- ГОСТ 17.2.1.04-77 Охорона природи. Атмосфера, джерела та метрологічні фактори забруднення промислові викиди. Терміни та визначення.
- ГОСТ 17.2.3.02-78 Охорона природи. Атмосфера. Правила встановлення допустимих викидів речовин промисловими підприємствами;

- ГОСТ 17.2.4.06-90 Охорона природи. Атмосфера. Методи визначення швидкості та витрати газопилових потоків, відходячих від стаціонарних джерел забруднення;

- ГОСТ 17.2.4.07-90 Охорона природи. Атмосфера. Методи визначення тиску і температури газопилових потоків, відходячих від стаціонарних джерел забруднення;

Ці та інші нормативні документи визначають правові, економічні та соціальні основи організації охорони навколишнього природного середовища в інтересах нинішнього і майбутніх поколінь.

7.1 Забруднення навколишнього середовища

Із розвитком промисловості та збільшенням об'ємів виробництва, атмосфера забруднюється промисловими викидами, що містять оксиди сірки, азоту, вуглецю, вуглеводні, частинки пилу. У водойми та річки потрапляють нафта і відходи нафтопродуктів, речовини органічного і мінерального походження; в ґрунтовий покрив - шлаки, зола, промислові відходи, кислоти, сполуки важких металів та ін. Безліч розроблених технологічних процесів призвело до зростання числа токсичних речовин, що надходять у навколишнє середовище.

При аналізі чинників, які несуть основну потенційну небезпеку забруднення навколишнього середовища в даному випадку, найбільш актуальними є наступні:

- на ділянці роботи обладнання утворюється шум;
- в процесі роботи обладнання утворюється аерозоль мінеральних масел і частинок змащувально-охолоджуваної рідини (ЗОР), яка через систему вентиляції потрапляє в атмосферу;
- в процесі роботи води забруднюються різними хімічними речовинами і мілкодисперсними твердими частинками;
- забруднення навколишнього середовища відбувається також вібрацією, електромагнітними випромінюваннями від працюючого обладнання;

Судна, що використовують пристрої, для очищення відхідних газів і вентиляційного повітря використовують широку номенклатуру газоочисних і пило-уловлюючих установок, що складаються з інерційних і відцентрових пило-уловлювачів, апаратів мокрого типу, а також апаратів фільтрації через пористі перегородки. В якості допоміжного обладнання використовуються вентилятори і димососи, системи газовідходів і відповідна арматура.

Повітря, що видаляється системами вентиляції та міститьпил, шкідливі і неприємно пахнучи речовини, перед викидом в атмосферу очищують, щоб їх зміст не перевищував величин, що допускаються нормами.

Для очищення повітря від шкідливих речовин застосовують різні методи.

Шкідливі паро- та газоподібні домішки, які містяться в повітрі, що видаляється, витягують, в основному, поглинанням твердими пористими речовинами, розчиненими в рідких речовинах, хімічним перетворення шкідливих речовин на менш шкідливі або легко вловлюючи. Деякі домішки нейтралізується за допомогою каталізаторів і без них в хімічних нейтралізаторах. Крім того, може застосовуватися фізичне розділення домі- шок – конденсація очищення.

Основною метою процесу знешкодження емульсії є отримання чистих вод. Крім того, при знешкодженні може попутно здійснюється збір масляної фази в цілях її подальшої регенерації і утилізації. Найчастіше знешкодження, емульсії виробляють комбінації різних способів поділу емульсії на складові фази. Найбільш поширеними є фізико-хімічний реагентний метод: сутність його полягає в руйнуванні структури емульсії хімічними продуктами.

7.2 Заходи щодо зниження забруднення навколишнього середовища

У сучасних умовах розширене використання природних ресурсів і збільшення промислових і побутових відходів призводить до негативного впливу на навколишнє середовище.

Тому судна повинні мати затверджені в установленому порядку норми ГДВ (гранично допустимих викидів) погоджені в установленому порядку з державним санітарним наглядом. Має забезпечуватися лабораторний контроль за кількістю і складом промислових викидів в атмосферу на межі санітарно-захисної зони.

Виробничі стічні води повинні бути попередньо очищені на локальних очисних спорудах від кислот і лугів, пожежо- та вибухонебезпечних речовин до меж, допустимих для скидання цих стоків на біологічні та інші очисні споруди. Стічні води, в яких можуть міститися радіоактивні, токсичні, бактеріальні забруднення, перед випуском у каналізацію повинні бути знезаражені та знешкоджені.

Стічні води, що не піддаються очищенню від забруднень, знищуються або складаються у визначених для цього місцях. Стічні води не забруднені повинні використовуватися в системах виробничого водопостачання.

Технологічний цикл підприємства повинен передбачати максимальну утилізацію твердих виробничих відходів.

Фільтрування широко використовується на суднах для тонкого очищення вентиляційного повітря від домішок. У цьому способі газоочищення газові потоки проходять через пористі фільтрувальні перегородки, пропускають газ, але затримують тверді частки. Фільтри слугують для уловлювання дуже тонких фракцій пилу (менш 1мкм) і характеризуються високою ефективністю при очищенні газів.

Задля чистоти повітря від туманів кислот, лугів, олій і інших рідин використовуються волокнисті фільтри, принцип дії яких ґрунтується на осадженні крапель, з наступним стисненням рідини під впливом сил тяжіння. Осадження крапель рідини відбувається під впливом механізмів відділення частинок забруднювача від газової фази на фільтроелементах.

Процеси очищення технологічних і вентиляційних викидів від газо- і парообразних домішок характеризується рядом особливостей: по-перше, гази, що викидаються у повітря, мають досить високу температуру і мають дуже багато пилу, що дуже затрудняє процес газоочищення і потребує попередньої підготовки

відведених газів; по-друге, концентрація газоподібних і пароподібних домішок частіше у вентиляційних і рідше в технологічних викидах зазвичай змінна і дуже низька. Методи очищення викидів від газоподібних домішок методом проходження фізико-хімічних процесів діляться чотирма групи: промивання викидів розчинниками домішки (метод абсорбції); промивання викидів розчинами реагентів, що пов'язують домішки хімічно (метод хемосорбції); поглинання газоподібних домішок твердими активними речовинами (метод адсорбції); поглинання домішок шляхом застосування каталітичного перетворення.

ВИСНОВКИ

Аналіз представлених діаграм і інших результатів дослідження чутливості дозволяє зробити наступні висновки:

- найбільш чутливий електропривод до зміни активного опору статора, яке відчутно впливає як на статичні, так і динамічні характеристики. Чутливість до зміни R_s є функцією швидкості і навантаження. Найбільш сильного впливу схильні характеристики приводу в області малих частот (менше $0,2 \omega_{\text{ном}}$), аж до втрати працездатності, що виявляється у виникненні автоколебательного режиму роботи з великими пульсаціями змінних. Зокрема, при $\tilde{R}_s = 1,2R_s$, електропривод з двигуном AIP280S6 втрачає працездатність на швидкостях, менших $0,05 \omega_{\text{ном}}$;

- зміна активного опору ротора впливає на статичну помилку у швидкості і не впливає на точність орієнтації системи за вектором потокозчеплення ротора і на динамічні характеристики приводу. Статична помилка у швидкості є функцією навантаження і не залежить від рівня швидкості;

- зміна взаємної індуктивності незначно позначається на орієнтації та динамічних характеристиках приводу при роботі на швидкостях, менших номінальної. Статична помилка в швидкості зростає з ростом навантаження і при роботі з постійним потокозчеплення ротора не залежить від рівня швидкості. Чутливість приводу до зміни L_m істотно зростає на швидкості, що перевищує номінальну, аж до відмови сприймати завдання за швидкістю вище певного рівня. Зокрема, при $L_m = 0,9L_m$ електропривод з двигуном AIP280S6 не розганяється вище $1,3\omega_{\text{ном}}$;

- зміна індуктивностей розсіювання у зв'язку з насиченням зубцевої зони двигуна потоками розсіювання помітним чином проявляється при кратностях струму статора, що перевищують (2-3) від номінального значення і, як правило, не перевищує 30 %-ного зниження щодо свого ненасиченого значення, навіть при струмах прямого пуску двигунів на номінальну напругу. Результати моделювання

та експерименту показали, що 50 %-ві зміни σL_s , не впливають суттєво на характеристики привода;

- дослідження чутливості електроприводу до величини «мертвої зони» перемикання транзисторів інвертора показали, що у разі коректної параметричної настройки приводу саме наявність «мертвої зони» є чинником, що обмежує діапазон регулювання приводу вниз від номінальної швидкості. Це проявляється у зростанні на малих швидкостях низькочастотних (шестикратних по відношенню до періоду основної гармоніки) пульсацій в швидкості і в електромагнітних змінних приводу. Величина цих пульсацій зростає із збільшенням частоти модуляції і величини «мертвої зони». Причина пульсацій полягає у відхиленні реальної напруги статора від його заданого значення, сформованого без урахування тимчасових затримок перемикання ключів інвертора;

- введення в привід алгоритмів адаптації до R_s , R_r , L_m і компенсації затримок перемикання ключів інвертора дозволяє істотно поліпшити його характеристики, а саме: знизити чутливість до зміни параметрів в процесі роботи, розширити діапазон регулювання швидкості як вниз, так і вгору від номінального, знизити рівень пульсацій змінних на малих швидкостях. Дослідження чутливості електроприводу до величини «мертвої зони» перемикання транзисторів інвертора показали, що у разі коректної параметричного налагодження приводу саме наявність «мертвої зони» є чинником, що обмежує діапазон регулювання приводу вниз від номінальної швидкості. Це проявляється у зростанні на малих швидкостях низькочастотних (шестикратних по відношенню до періоду основної гармоніки) пульсацій в швидкості і в електромагнітних змінних приводу. Величина цих пульсацій зростає із збільшенням частоти модуляції і величини «мертвої зони». Причина пульсацій полягає у відхиленні реальної напруги статора від його заданого значення, сформованого без урахування тимчасових затримок перемикання ключів інвертора. Так як розрахунок змінних приводу виконується на основі заданої напруги статора, то ця помилка проявляється у всіх обчислених змінних.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Быховский Ю. И., Шеинцев Е. А. Электроприводы ваерных и траловых лебёдок. - 2-е изд., перераб. И доп.-М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981.-208 с.
2. Ганф Л. А., Голицкер А. П. Автоматика на рыболовных судах. – М.: Пищевая промышленность, 1965. – 51 с.
3. Торбан С. С. Промысловые механизмы для комплексной механизации кошелькового лова. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 384 с.
4. Зайчик К. С. Промысловые устройства морских рыбопромысловых судов. – Л.: Судостроение, 1972. – 232 с.
5. Яуре А. Г., Покрасс И. И., Белый В. А. Электроприводы палубных механизмов. – Л.: Судостроение, 1967. – 315 с.
6. Гуревич М. И., Расулев Ш.А., Торбан С. С. Определение натяжения ваеров при тралении. – Рыбное хозяйство, 1975, №7.
7. Расулев Ш. А., Торбан С. С., Траубенберг Г. А. Определение натяжения ваеров в процессе выборки тралов. – Рыбное хозяйство, 1976, №8. С. 51–54.
8. Траубенберг Г. А., Торбан С. С., Расулев Ш. А. Характеристики траловых лебедок. – Рыбное хозяйство, 1977, №12. С. 44–47.
9. Архангельский Н. Система векторного управления асинхронным электроприводом с идентификатором состояния / Архангельский Н. Л., Курнышев Б. С., Виноградов А. Б., Лебедев С. К. / Электричество. 1991. № 11.
10. Виноградов А. Б. Адаптивная система векторного управления асинхронным электроприводом / Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н. / Электротехника. 2003. № 7.
11. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».— Иваново, 2008.— 298 с. ISBN.
12. Виноградов А. Б., Новая серия цифровых асинхронных электроприводов на

основе векторных принципов управления и формирования переменных / Виноградов А. Б., Чистосердов В. Л., Сибирцев А. Н., Монов Д. А. / Электротехника. 2001. № 12.

13. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с., ил.

14. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. – К.: «Основа», 2011. – 551 с.

15. Законодавство України про охорону праці.

16. Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам: Учеб. пособие для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / Марк Михайлович Кацман. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.

17. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отделение, 1981. – 288 с., ил.

18. Кормак С.В. Борьба с загрязнением моря нефтью и химическими веществами (пер с английского). - М.: Транспорт, 1998 - 368 с.

19. Кравчик А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982 – 504 с., ил.

20. Михнюк Т.Ф. Охрана труда и основы экологии: Учебное пособие./ - Минск: Высш. шк., 2007 – 356 с.:ил.

21. Скороходов Е.А. Намоточные станки: учебное пособие./.»Энергия» Москва 1989. – 177с.

22. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ.

вузов/ В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. - 3-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 304с.

23. Электроприводы с преобразователями частоты серии ЭПВ (исполнение 4). Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Обновление: январь 2008.

24. Бездатчиковий комплектний електропривод / Кисіль А.В., Савченко О.В., Гараєв К. Р., Фоменко Л. А // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених «Автоматика та електротехніка». –Миколаїв: НУК, 2019. – С. 59–62.

СЕРВОЕЛЕКТРОПРИВОД ПІДТРИМКИ НАТЯГНЕННЯ КАНАТА

Студент магістратури: Татаренко Микола Іванович

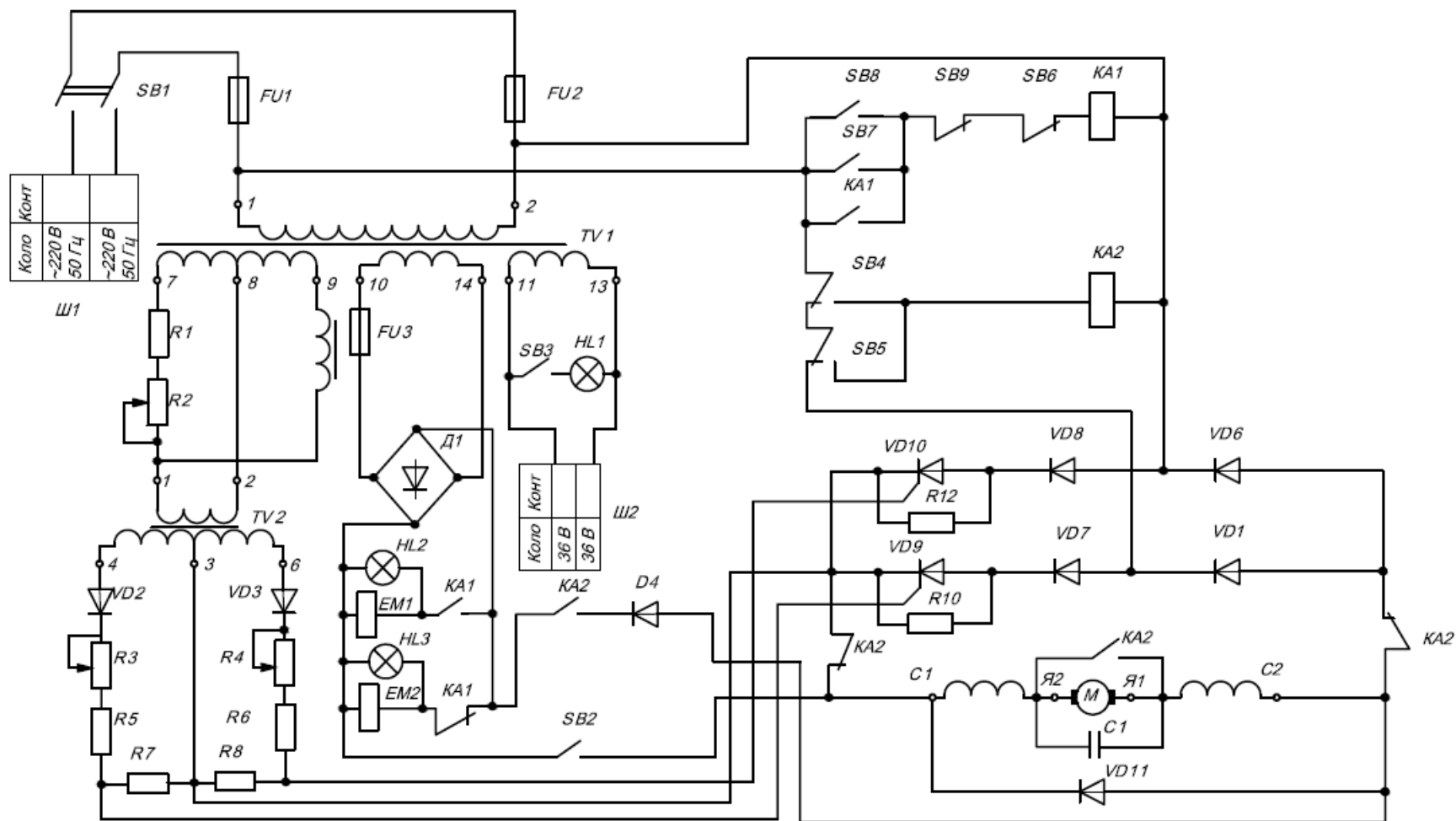
Науковий керівник: к.е.н., доцент

Майборода Олександр Валерійович

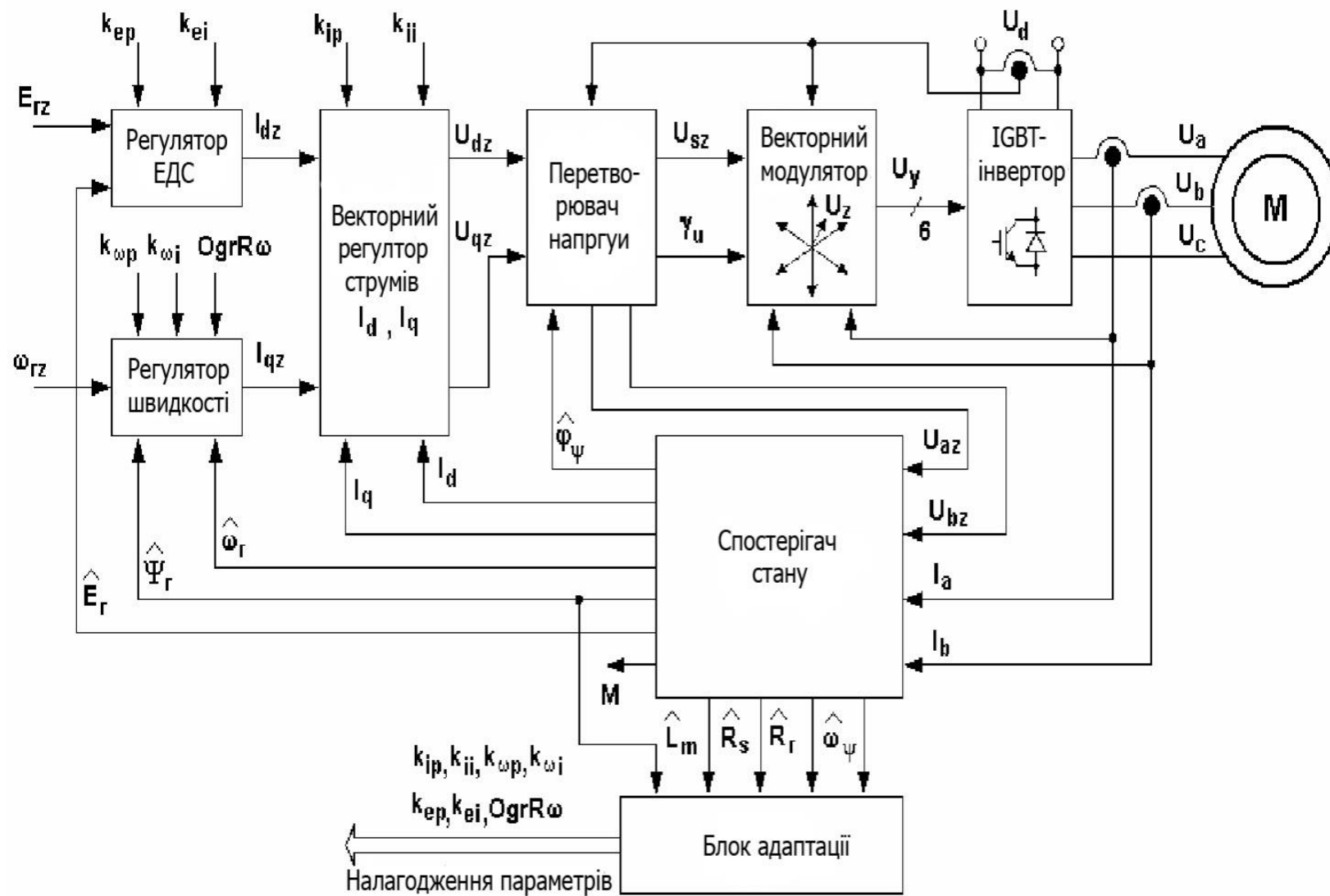
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Згідно проведеного аналізу тралових лебідок, їх систем, керування та шляхів поліпшення динамічних характеристик розроблені наступні шляхи поліпшення:

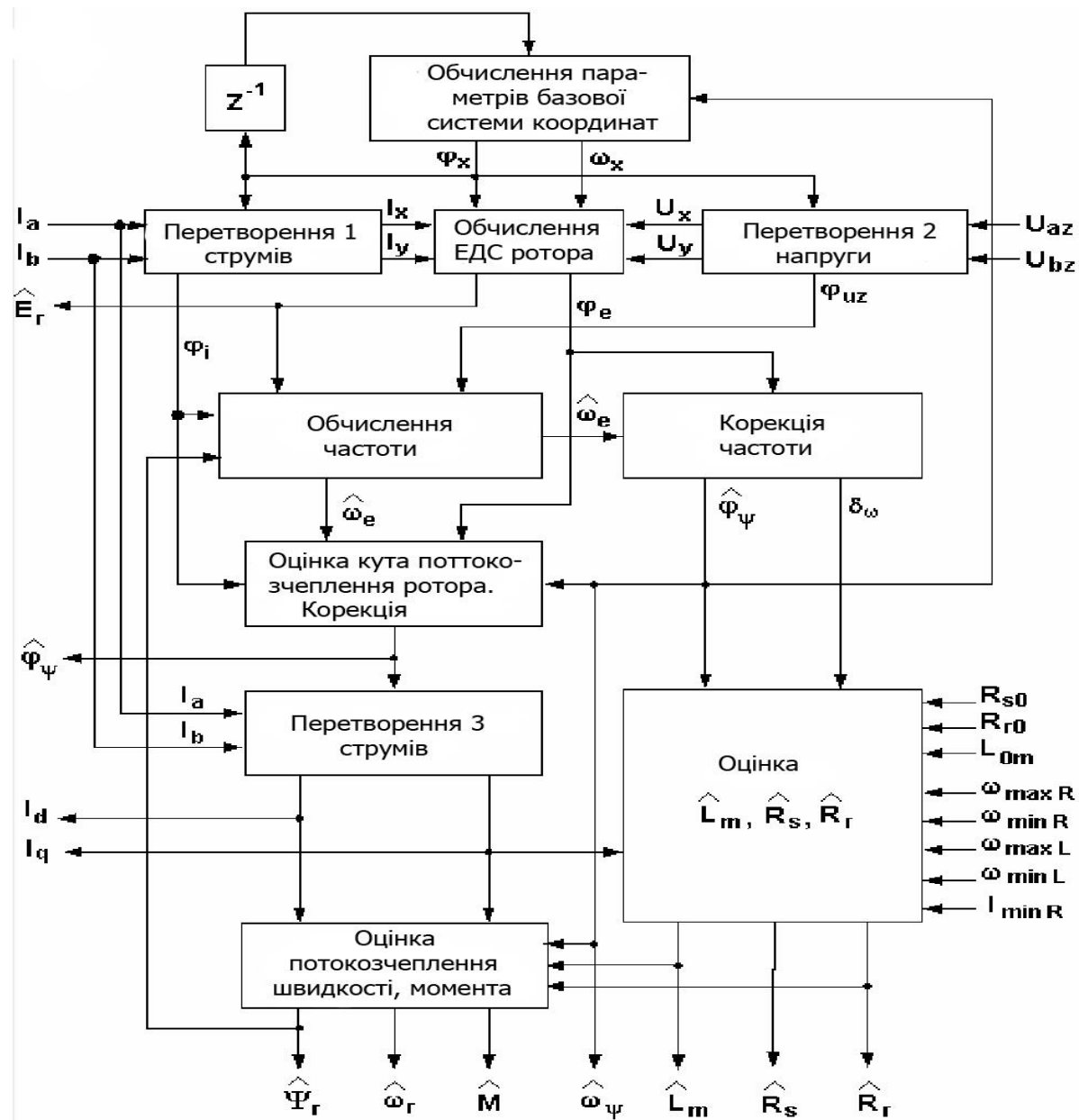
- замінити релейно-контакторну систему на напівпровідниковий сучасний комплектний електропривід;
- скласти математичну модель для розрахунку векторної системи керування;
- провести чисельний експеримент з дослідження системи;



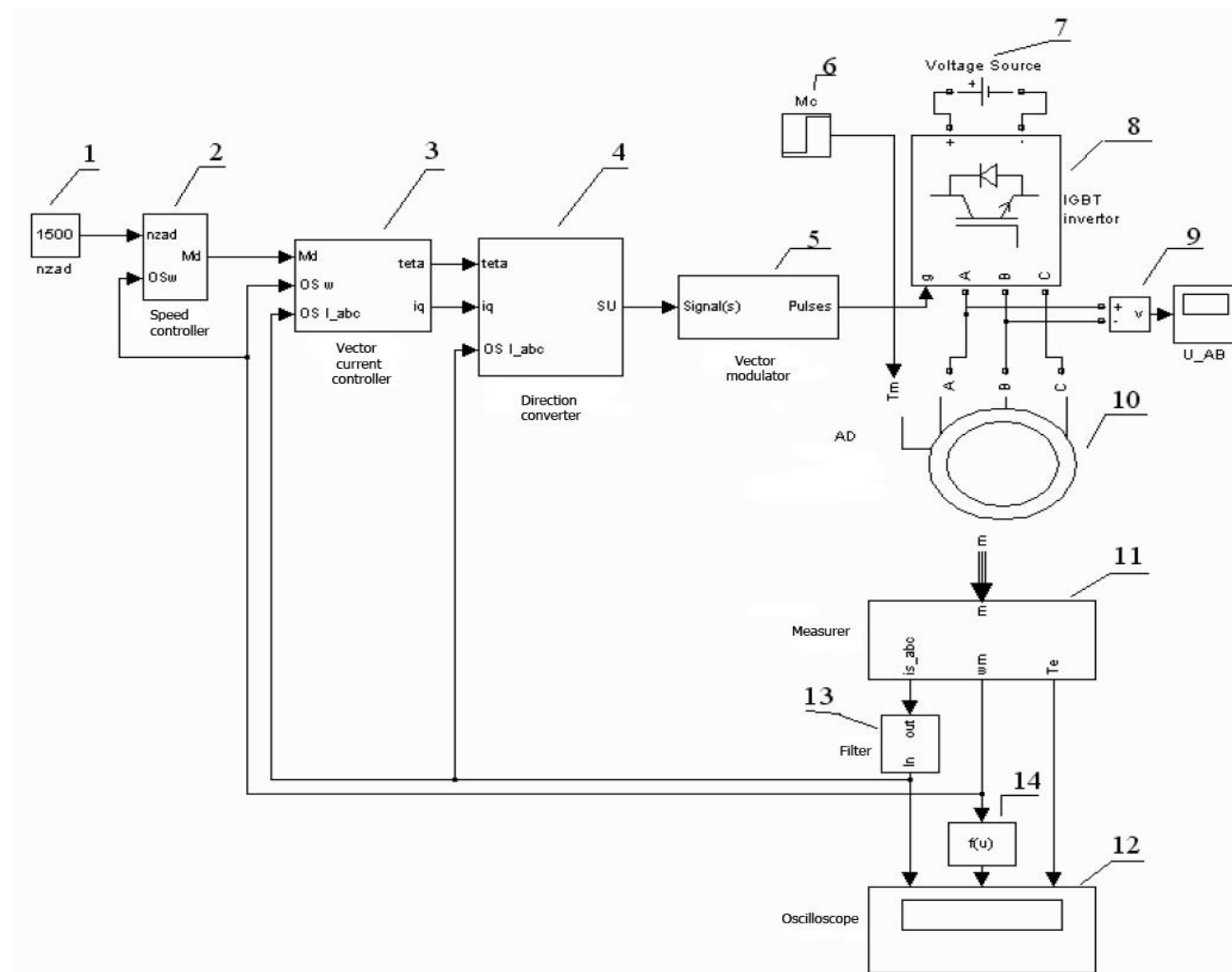
Електрична схема



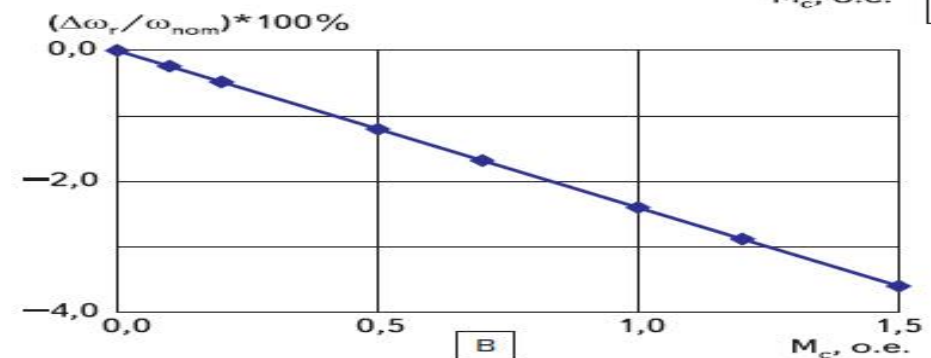
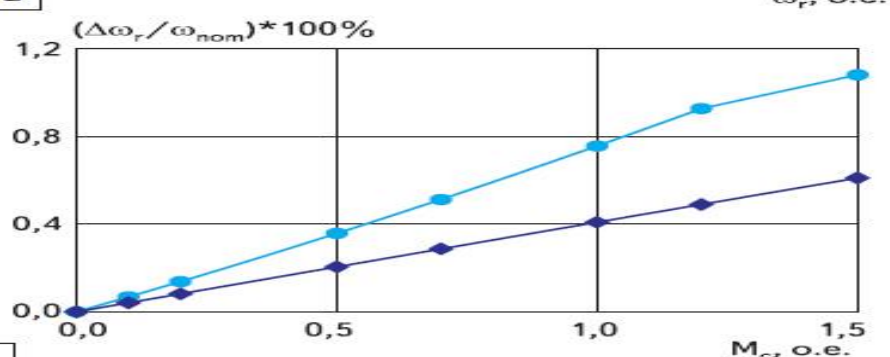
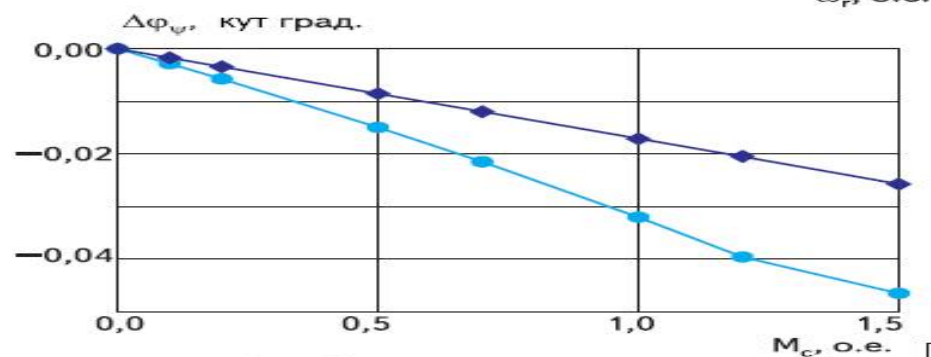
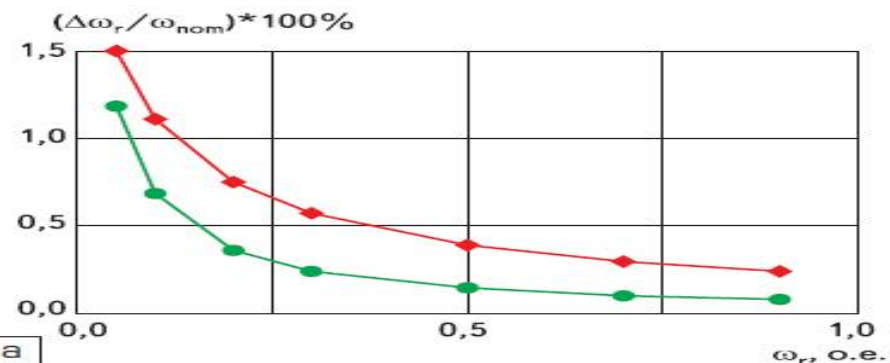
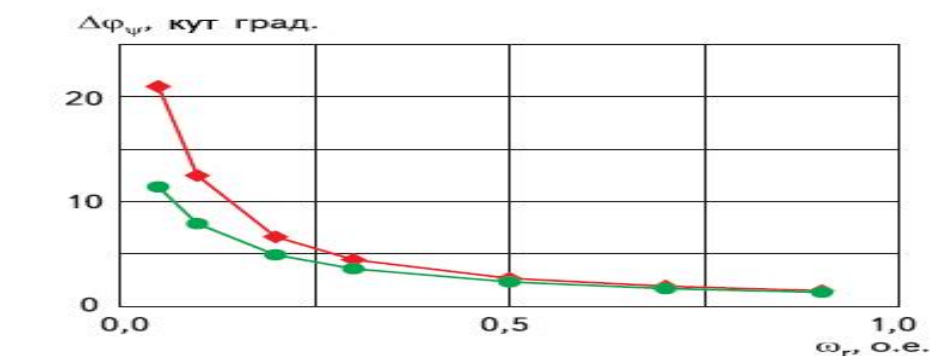
Структурна схема електроприводу



Структурна схема спостерігача стану

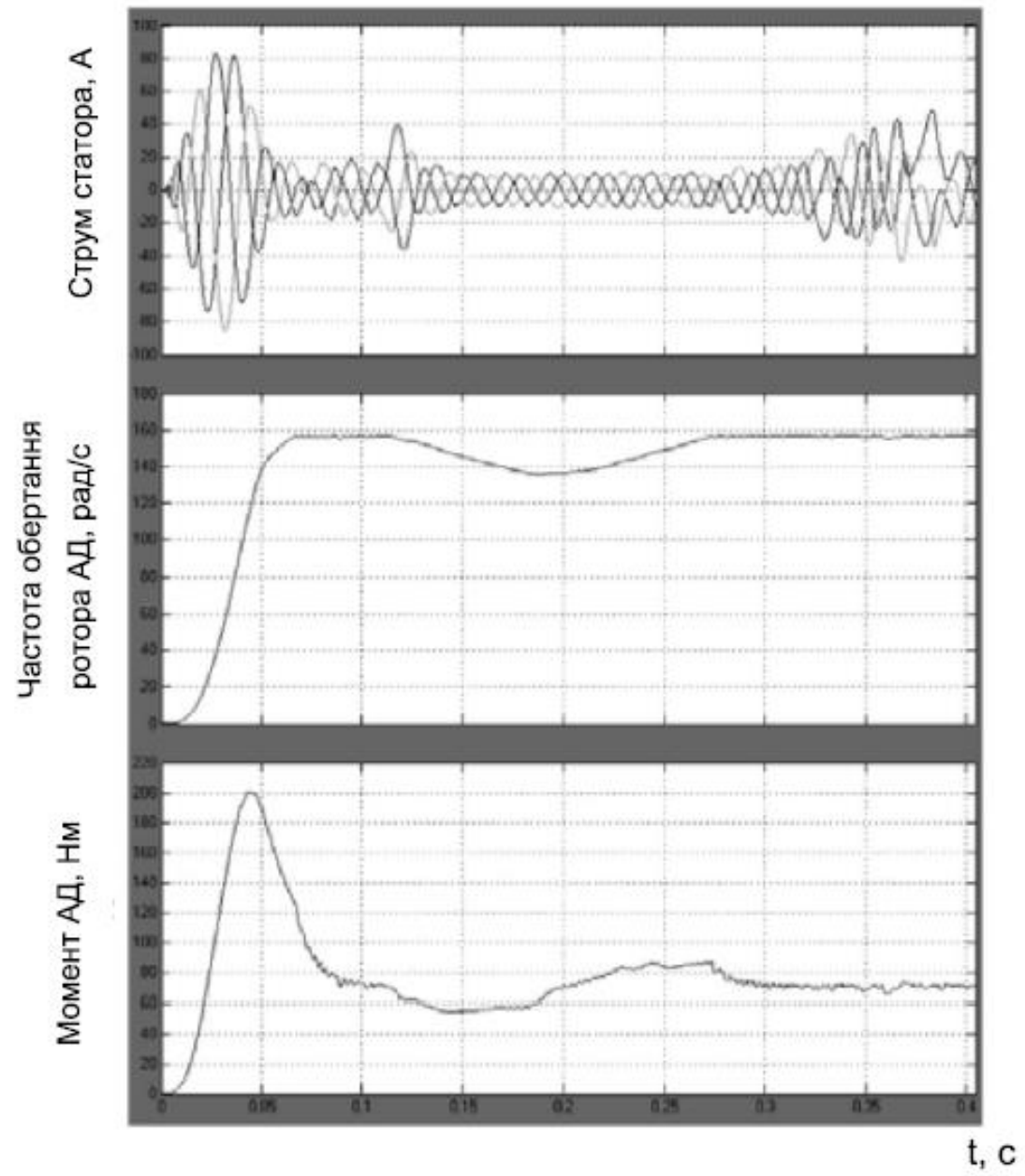


Розрахункова схема



а) $R_s = 1,5\tilde{R}_s$; $\blacklozenge$ — $M_c = M_{nom}$, $\bullet$ — $M_c = 0$;
 б) $\tilde{L}_m = 0,9L_m$;
 $\blacklozenge$ — $\omega_r = [0,05-0,9]\omega_{nom}$, $\bullet$ — $\omega_r = 1,2\omega_{nom}$;
 в) $R_r = 1,5\tilde{R}_r$, $\omega_r = [0,05-0,9]\omega_{nom}$.

Графіки помилок в орієнтації системи керування і обчислення швидкості при варіації параметрів двигуна, рівня швидкості та навантаження навантаження



Динаміка роботи системи адаптивно-векторного керування асинхронним електроприводом в режимі «ПУСК»

Аналіз представлених діаграм і інших результатів дослідження чутливості дозволяє зробити наступні висновки:

- найбільш чутливий електропривод до зміни активного опору статора, яке відчутно впливає як на статичні, так і динамічні характеристики.
- зміна активного опору ротора впливає на статичну помилку у швидкості і не впливає на точність орієнтації системи за вектором потокозчеплення ротора і на динамічні характеристики приводу. Статична помилка у швидкості є функцією навантаження і не залежить від рівня швидкості;
- зміна взаємної індуктивності незначно позначається на орієнтації та динамічних характеристиках приводу при роботі на швидкостях, менших номінальної.
- дослідження чутливості електроприводу до величини «мертвої зони» перемикання транзисторів інвертора показали, що у разі коректної параметричної настройки приводу саме наявність «мертвої зони» є чинником, що обмежує діапазон регулювання приводу вниз від номінальної швидкості.
- причина пульсацій полягає у відхиленні реальної напруги статора від його заданого значення, сформованого без урахування тимчасових затримок перемикання ключів інвертора. Так як розрахунок змінних приводу виконується на основі заданої напруги статора, то ця помилка проявляється у всіх обчислених змінних.