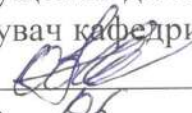


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Кафедра СЕЕС

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри, д.т.н., доц.
 А.В.Обрубов
«17» 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
на тему Розрахунок електропривода водопостачання зі змінною
продуктивністю

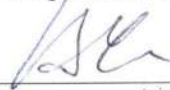
Виконав: студент групи 4367ст3



(підпис)

Ігошин Р.В.

Керівник роботи старший викладач



(підпис)

Чекунів В.К.

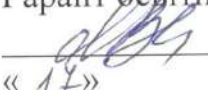
Миколаїв – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

Кафедра	СЕЕС			
Спеціальність	141	Електроенергетика,	електротехніка	та
		електромеханіка		
Освітня програма	Електромеханіка та електроенергетика			

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми, д.т.н., проф.

 **Я.Б.Волянська**

«14» 06 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
студенту Ігошину Руслану Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок електропривода водопостачання зі змінною продуктивністю

керівник роботи Чекунов Володимир Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.04.2026 року № 286-уч

2. Термін подання роботи: _____

3. Вихідні дані до роботи: основні параметри роботи насоса: продуктивність, напір, припустимі втрати.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)
аналіз і вибір нагнітачів; вибір приводного двигуна; розрахунок характеристик;
розробка системи підтримки тиску при зміні витрати рідини;
визначення стійкості системи; моделювання роботи привода; охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів
креслення насоса; робочі характеристики насоса; механічні
характеристики природні та штучні; силова схема; схема управління.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір нагнітачів	15.03.26	
2	Вибір привідного двигуна	15.04.26	
3	Способи та засоби управління	30.04.26	
4	Визначення стійкості	15.05.26	
5	Охорона праці	01.06.26	
6	Оформлення роботи	10.06.26	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

Ігошин Р.І.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Чекунов В.К.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглядаються питання водопостачання по заданих параметрах продуктивності й напору. Розраховується потужність та обирається асинхронний електродвигун. Розраховуються його механічні й електромеханічні характеристики природні та штучні. Розраховується характеристика моменту опору. Вибирається спосіб підтримки постійним тиску в системі при зміні витрати рідини. Для цього змінюється частота обертання двигуна шляхом зміни частоти живлячої напруги.

Здійснюється розробка схеми електропривода відцентрованого насоса з частотним регулюванням. Розробляється принципова силова схема автономного інвертора напруги, та його схема керування. Розглядаються питання моделювання роботи та стійкості системи автоматичного керування.

Розглядаються питання охорони праці.

Ключові слова: електропривод, водопостачання, частотне регулювання, механічні характеристики двигуна, перехідні процеси.

ANNOTATION

Water supply issues for given parameters of productivity and pressure are considered in this qualification work. Asynchronous motor is selected as well as its power is calculated. Also its natural and artificial characteristics are calculated. Resistance moment characteristics are calculated. The way to maintain a constant voltage in the system under changing the fluid loss is figured out. For this purpose, the engine speed changes by supply voltage changes.

Operation of an electric drive of a centered pump with frequency regulation is elaborated. Circuit diagram of an autonomous voltage inverter and its control circuit is worked out. Issues of modeling both work and persistence of autonomous running are considered.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ	Лист
						4
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Safety issues are considered.

Keywords: electric drive, water supply, frequency control, mechanical characteristics of the engine, transient processes.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ	Лист
						5
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА	13
1.1. Класифікація нагнітачів	14
1.2. Основні параметри системи.....	15
1.3. Загальна характеристика відцентрових насосів	15
1.4. Робочі характеристики	16
1.5. Вибір насоса	18
2. ВИБІР ПРИВОДНОГО ДВИГУНА ТА СПОСОБУ ЙОГО УПРАВЛІННЯ	22
2.1. Вибір електродвигуна для привода насоса	23
2.2. Регулювання швидкості АД з коротко замкнутим ротором зміною частоти живильної напруги.....	28
2.3. Розрахунок перехідних процесів при пуску асинхронного двигуна	32
3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ СХЕМИ ІНВЕРТОРА.....	37
3.1. Вибір схеми автономного інвертора напруги.....	38
3.2. Розрахунок потужності автономного інвертора напруги	41
3.3. Розрахунок струмів і напруг для основних елементів АІН	42
3.4. Компенсуючий конденсатор.....	44
3.5. Гальмуючий резистор	46
3.6. Вплив інвертора на мережу	47
3.7. Вибір елементів схеми	50
4. ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ.....	51
4.1. Визначення коефіцієнтів і постійних часу передатних функцій	52
4.2. Визначення стійкості системи	53
5. ВИКОРИСТАННЯ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ (СПЧ) ДЛЯ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ЗІ	

ЗМІННОЮ ПРОДУКТИВНІСТЮ.....	55
5.1. Основні переваги застосування СПЧ	57
5.2. Структура статичного перетворювача частоти та переваги застосування	57
5.3. Вибір і розрахунок силової схеми інвертора	58
5.4. Перетворювач частоти з рекуперацією на основі оборотного перетворювача напруги	63
6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	66
Висновки	77
Список використаних джерел.....	78
Додаток.....	80

ВСТУП

У випускної кваліфікаційної роботі бакалавра розглядається електропривод відцентрового насоса з частотним регулюванням, за допомогою якого можна істотно заощаджувати електроенергію [6].

Часто виникає необхідність регулювати продуктивність відцентрового насоса. Це досягається двома способами:

- а) дроселюванням нагнітача, тобто частковим перекриванням вентилем (заслінкою) напірного трубопроводу;
- б) зміною швидкості приводного двигуна.

Розглянемо другий спосіб.

Для регулювання швидкості відцентрового насоса використовують двигуни з фазним ротором, із вмиканням додаткових опорів у коло ротора, а так само асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором. Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором краще використовувати, тому що вони дешевше, простіше і надійніше (конструкція ротора не передбачає механічного комутатора, за яким потрібний постійний догляд), за рахунок цього збільшується потужність, що приходить на одиницю маси.

Сутність запропонованого способу регулювання подачі відцентрового насоса полягає в наступному: при зменшенні споживання води автоматично зменшується кутова швидкість двигуна й отже зменшується подача відцентрового насоса.

Існує кілька способів регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором:

- а) зміною частоти f_1 ;
- б) зміною числа пар полюсів p ;
- в) зміною поданої напруги U .

Ефективне глибоке регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором можливо тільки при наявності джерела з

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.В	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

регульованою частотою. Частотне регулювання дає можливість, плавно регулювати частоту обертання двигуна в залежності від подачі насоса.

Раніше багато способів регулювання частоти обертання двигунів були засновані на використанні додаткових машин. Зараз для цих цілей розроблені електроприводи зі статичними перетворювачами, у яких використовуються тиристори.

Силові перетворювачі частоти, призначені для регульованого електропривода, повинні перетворювати напругу мережі промислової частоти в змінну напругу, амплітуду, частоту і фазу якого можна змінювати у визначеному діапазоні.

Частота – це часовий параметр змінної напруги, що визначає власне кажучи інтервали часу, через які змінюється ця напруга. Саме це уявлення про частоту і лежить в основі найбільш загального принципу перетворення частоти в статичних пристроях, побудованих на цілком чи не цілком керованих напівпровідникових ключових елементах – тиристорах. Сутність цього принципу лежить в організації такого з'єднання ключових елементів і їхні вмикання і вимикання за таким законом у функції часу, що забезпечують підключення джерела енергії до виходу перетворювача з заданою частотою зміни знака середнього значення напруги на цьому виході.

У перетворювальній техніці історично прийнято називати процес переходу струму від однієї галузі вентильної схеми до іншої комутацією. Для автономних пристроїв поняття комутація ототожнюється з поняттям вмикання вентиля.

Тиристорні перетворювачі частоти (ТПЧ) по виду комутації тиристорів можна розділити на три класи:

- 1) із природною комутацією;
- 2) із примусовою комутацією;
- 3) зі змішаною комутацією.

Під природною комутацією розуміється комутація тиристорів, що відбувається під дією змінної напруги мережі, від якої живиться ТПЧ або на яку він працює.

Якщо джерелом комутуючої напруги є окреме джерело енергії, то комутацію називають примусовою.

Перетворювач зі змішаною комутацією складається з вузлів, одна частина яких використовує природну комутацію, а інша – примусову.

По виду зв'язку навантаження з джерелом енергії, чи точніше, по типу проміжного перетворення первинної напруги виділяють два типи тиристорних перетворювачів частоти:

- 1) з проміжною ланкою постійного струму;
- 2) з безпосереднім зв'язком живильної мережі і кола навантаження.

У тиристорних перетворювачах частоти з проміжною ланкою постійного струму відбувається двократне перетворення напруги живильної мережі: спочатку вона випрямляється випрямлячем, а потім постійна напруга за допомогою інвертора перетворюється в змінну напругу. Інвертор може бути як автономним, так і відомим.

Випрямляч і інвертор можуть працювати незалежно друг від друга або з природною, або з примусовою комутацією.

Інвертор є пристроєм, що перетворює енергію постійного струму в енергію змінного струму. У напівпровідникових інверторах використовуються тиристири (чи транзистори), переключення яких проходить в строго визначеному порядку таким чином, щоб на виході інвертора одержати змінну напругу.

Вихідна частота перетворювача визначається швидкістю, з якою проходить почергове відмикання тиристорів інвертора. Це здійснюється за допомогою задаючого генератора і пристрою на логічних елементах, що виробляють і розподіляють керуючі імпульси між тиристорами в необхідній послідовності. Після закінчення часу провідного стану кожен тиристор

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.В	Лист
						10
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідно замкнути, для чого використовується допоміжне комутаційне коло.

Вихідна частота інвертора регулюється від нуля до декількох сотень герц зміною частоти задаючого генератора. Форма вихідної напруги звичайно є несинусоїдальною, однак фільтри на виході інверторів відсутні через те, що забезпечити їхню ефективну роботу в широкому діапазоні частот важко. Тому вихідна напруга інвертора підводиться безпосередньо до двигуна змінного струму, у зв'язку з чим вибір останнього необхідно робити з урахуванням наявності вищих гармонік. Звичайно вважають, що викривлення кривої напруги не приводить ні до яких серйозних наслідків, крім невеликого зменшення потужності і ККД двигуна. Живлення двигуна від інвертора викликає також нерівномірність ходу вала при дуже низьких частотах унаслідок нерівномірності обертання хвилі магнітного потоку.

Регулювання напруги на виході інвертора можна здійснювати зміною постійної напруги на його вході. Можливо також напругу постійного струму підтримувати постійною, а вихідну напругу регулювати безпосередньо самим інвертором.

Іншим типом статичного перетворювача частоти є перетворювач з безпосереднім зв'язком, що теж використовується в регульованих електроприводах змінного струму. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком будуються на основі реверсивних керованих випрямлячів.

У цих перетворювачах напруга мережі безпосередньо, без проміжного випрямлення перетворюється у вихідну напругу зниженої частоти. Тут тиристори використовуються для виборчого підключення навантаження до джерела живлення, і напруга зниженої частоти складається з відрізків синусоїд напруги мережі. У таких перетворювачах вихідна частота не повинна бути більше $1/3$ вхідної частоти, тому електропривод з перетворювачем частоти з безпосереднім зв'язком, що живиться від промислової мережі, забезпечує роботу двигуна тільки на знижених швидкостях. Слід зазначити, що форма кривої напруги на виході перетворювача з безпосереднім зв'язком близька до

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.В	Лист
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

синусоїди, особливо при низьких частотах. Вихідна частота такого перетворювача, так само як і інвертора, формується незалежним задаючим генератором, а регулювання напруги здійснюється за допомогою схеми керування.

При порівнянні перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком з перетворювачем частоти з ланкою постійного струму, виявлені наступні недоліки перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком:

а) для прийнятних значень номінальної потужності і ККД вихідна частота не може бути більше $1/3$ чи половини вхідної частоти;

б) перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком вимагають більшої кількості тиристорів і їхня схема керування більш складна;

в) перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком характеризуються низьким коефіцієнтом потужності особливо при зниженні напруги. Високий коефіцієнт потужності у перетворювачах частоти з ланкою постійного струму, може бути досягнутий при використанні некерованих випрямлячів.

Незважаючи на те, що перетворювач з ланкою постійного струму здійснює дворазове перетворення енергії, його ККД досить високий – від 85 до 95%, а інвертор може бути виконаний практично на будь-який діапазон вихідної частоти.

Підводячи підсумок, можна говорити, що перетворювачі з ланкою постійного струму найкраще використовувати на високих частотах, а перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком – для низкошвидкісних реверсивних приводів.

Для даного випадку більше всього підходить схема частотного регулювання на основі автономного інвертора напруги (АІН) із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), з ланкою постійного струму.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.В	Лист
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					14.1.4.367см3.КРБ.ПЗ.Р1		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Ігошин Р.І.			1. Вибір електро-привода		
Консультант							
Керівник		Чекунов В.К.					
Зав. каф.		Обрубов А.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						13	
					ННІАЕ НУК		

1. ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Насоси споживають енергію від електропривода і передають її робочому тілу – рідині. Ця енергія викликає рух робочого тіла в трубопроводах, причому тиск робочого тіла за нагнітачем більше, ніж перед ним. Іншими словами нагнітачі служать для переміщення рідин і передачі їм енергії.

Робоче тіло надходить у нагнітач через всмоктувальний трубопровід з тиском $p_{вс}$. У нагнітачі робочому тілу надається енергія, і в нагнітальному (напірному) трубопроводі тиск $p_{наг}$ буде більше початкового.

У даному розділі роботи буде зроблений вибір насоса за даними завдання.

1.1. Класифікація нагнітачів

За принципом дії розрізняють нагнітачі: відцентрові, пропелерні, поршневі, ротаційні з поршнями або висувними лопатками. Для перекачування в'язких рідин (палива, масла та ін.) іноді застосовують шестерні і гвинтові насоси.

По роду середовища, що перекачується, нагнітачі розділяються на: водяні, питні і для миття, холодної і гарячої води; паливні і масляні; повітряні, димові, газові.

По призначенню нагнітачі поділяються на дві основні групи: суднових енергетичних установок і загально суднових систем.

До нагнітачів суднових енергетичних установок відносяться насоси паливні, масляні, циркуляційні, охолоджуючі, живильні та ін. і вентилятори: машинні, котельні, охолоджуючі та ін.

До нагнітачів загально суднових систем відносяться насоси: пожежні, баластові, трюмні, санітарні, вантажні і т.д. і вентилятори: трюмні, каютні, рефрижераторні та ін.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р1	Лист
						14
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Основні параметри системи

До основних параметрів роботи насосів відноситься подача Q , напір H і кутова швидкість ω . Ці параметри визначають також момент опору і потужність на валу механізмів.

Подача – кількість рідини або газу, яка подається через перетини вихідного патрубку насоса в одиницю часу.

Напір – енергія, що повідомляється насосом одиниці маси рідини або газу, що перекачується. Поряд з поняттям “напір” для характеристики роботи насоса використовують поняття “тиск”, припускаючи під ним енергію, повідомлену 1 м^3 рідини. Напір необхідний для руху потоку і подолання їм на шляху різного роду опорів. У практичних розрахунках напір вимірюють у метрах чи міліметрах водяного стовпа.

1.3. Загальна характеристика насосів

Відцентрові насоси – найпоширеніші механізми. Вони набули широкого застосування завдяки ряду позитивних якостей, таких, як: висока надійність; бистрохідність, що дозволяє безпосередньо з’єднувати їх з електродвигунами; рівномірність подачі рідини, що перекачується, чи газу; мала маса і габаритні розміри. На рис.1.1 показана схема відцентрового нагнітача.

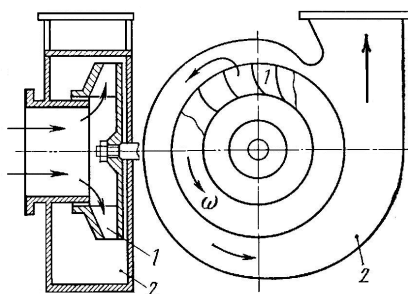


Рис.1.1. Схема відцентрового нагнітача
1 – робоче колесо, 2 – корпус нагнітача (спіральний відвід).

Принцип дії нагнітача оснований на взаємодії лопаток робочого колеса з потоком рідини або газу. У відцентровому насосі підвищення тиску рідини (газу) у колесі досягається в основному завдяки дії відцентрових сил; вхід у таких насосів осьовий, вихід радіальний. Значення напору, створюваного у відцентровому насосі, безпосередньо залежить від зовнішньої окружної швидкості робочого колеса, що є функцією частоти обертання і діаметра колеса.

1.4. Робочі характеристики

Під робочими характеристиками відцентрових насосів розуміють залежності напору, потужності, коефіцієнта корисної дії й інших параметрів від подачі. Основні види робочих характеристик показані на рис.1.2.

Як видно з рис.1.2, при нульовій подачі ($Q = 0$), тобто при перекритому нагнітальному каналі, приводний електродвигун працює зі зниженою потужністю і підтримує напір H_0 .

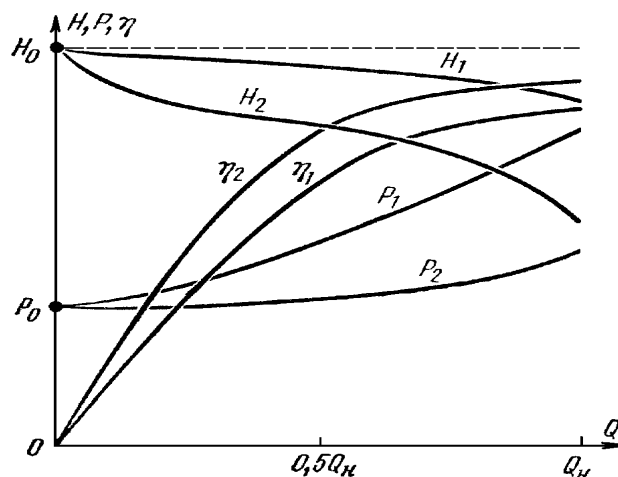


Рис.1.2. Робочі характеристики відцентрового нагнітача:
індекс 1 – для насосів з радіальними лопатками,
індекс 2 – для насосів з лопатками, відігнутими назад

Теоретичний розрахунок характеристик $H = f(Q)$ і $\eta = \varphi(Q)$ представляє

великі труднощі, тому на практиці користаються експериментальними залежностями, що приводяться в каталогах. Звичайно ці характеристики даються для незмінної номінальної кутової швидкості ω_H . Одержати характеристику $H-Q$ для кутової швидкості, відмінної від номінальної, можливо, використовуючи для цього закони пропорційності.

Оскільки окружна й абсолютна швидкості u і c для того самого насоса пропорційні його кутової швидкості ω , то, думаючи що в (1.2) і (1.3) η_r і η_0 незмінні, одержуємо закони пропорційності відцентрових насосів

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad (1.4)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2; \quad (1.5)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2. \quad (1.6)$$

На рис.1.3 показані $H-Q$ характеристики відцентрових нагнітачів. Для одержання характеристики $H-Q$ при кутовій швидкості, відмінної від стандартної, використовуються закони пропорційності. Для цього задаються поруч значення $Q_{H1}-Q_{H2}$, яким відповідають напори $H_{H1}-H_{H2}$ на характеристиці $H-Q$ при $\omega_H = const$

Наприклад, для одержання точки a при $\omega_1 = const$ необхідно обчислити Q_A і H_A по вираженнях:

$$Q_A = \frac{\omega_1}{\omega_2} Q_{H3};$$

$$H_A = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 H_{H3}.$$

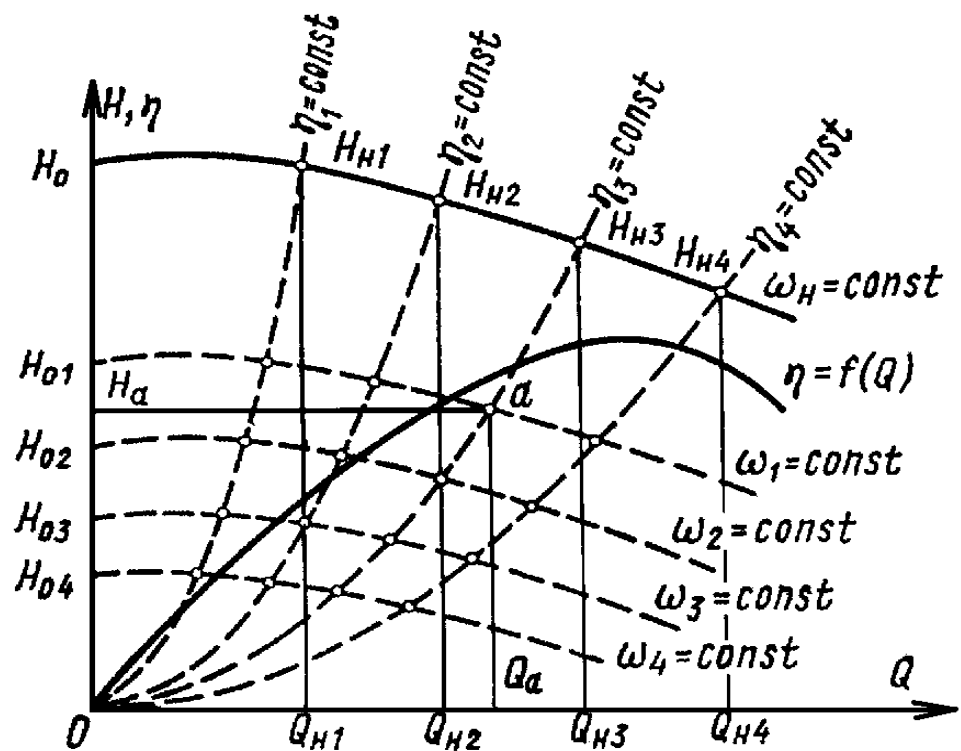


Рис .1.3. $H-Q$ - характеристики відцентрових насосів

Відповідно до (1.6) розраховуються параболи, що проходять через обрані крапки на заданій характеристиці (при $\omega_H = const$). З'єднуючи крапки парабол з однаковими швидкостями, одержують $H-Q$ характеристику для постійної швидкості $\omega = const$. Оскільки вираження (1.4)-(1.6) виведені в припущенні, що η_r і η_0 постійні, то отримані параболи виявляються лініями постійного ККД насоса $\eta = const$.

1.5. Вибір насоса

Вихідні дані:

необхідна подача: $Q_{нп} = 45 \text{ м}^3/\text{год}$;

необхідний напір: $H_{нп} = 47 \text{ м}$.

Виходячи з області застосування приводу вибираємо відцентровий насос КМ.

Електронасоси відцентрові консольні моноблокові типу КМ призначені

для перекачування в стаціонарних умовах технічної води (крім морської) із рН=6...9, що містить механічні приміси не більше 0,1 % по обсязі й розміром часток не більше 0,2 мм, а також інших рідин, подібних з водою по щільності й хімічної активності.

Електронасоси виготовляються:

- с одинарним чепцевим ущільненням для перекачування рідини до 85 °С;
- с торцевим ущільненням для перекачування рідини до 140 °С.

Електронасоси застосовуються в системах водопостачання й опалення виробничих і житлових приміщень.

Клас захисту електронасосів від поразки електричним струмом ДСТУ 12.2.007.0-95.

Кліматичне виконання У, категорія розміщення 3.1 по ДСТУ 15150-99.

Електронасоси не призначені для установки у вибухонебезпечних приміщеннях.

Аналіз графічних характеристик (рис. 1.4) і параметрів насосів КМ дозволив обрати тип КМ 80 - 50 - 200. Умовна позначка електронасоса у технічної документації:

електронасос КМ 80 - 50 - 200

де: КМ - конструктивне виконання насоса (консольний моноблочний),

80 - діаметр усмоктувального патрубку, мм;

50 - діаметр напірного патрубку, мм;

200 - діаметр робочого колеса, мм;

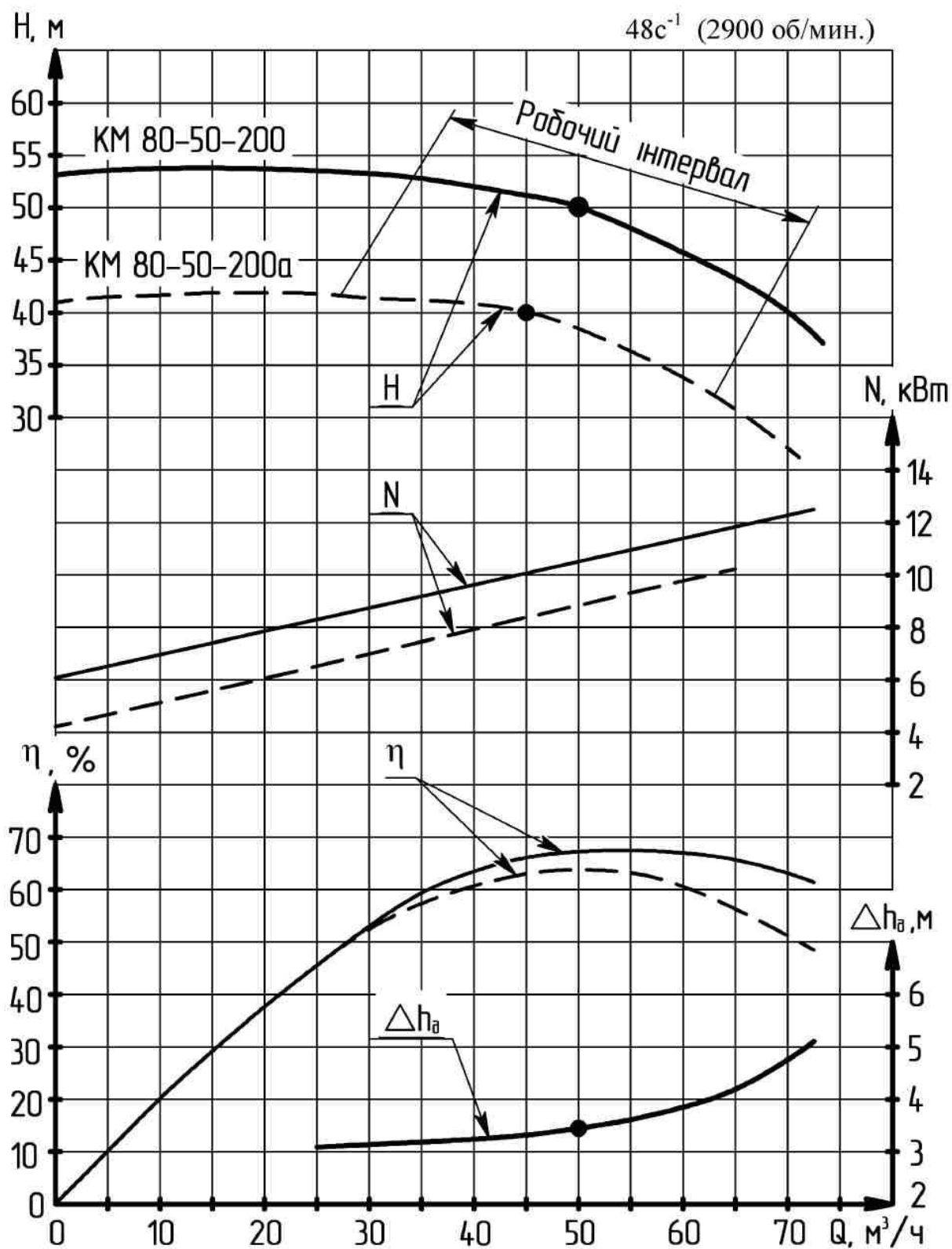


Рис. 1.4. Графічні характеристики насоса КМ80-50-200

Габаритні й приєднувальні розміри насоса показані на

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р1

Лист
20

рис.1.5.

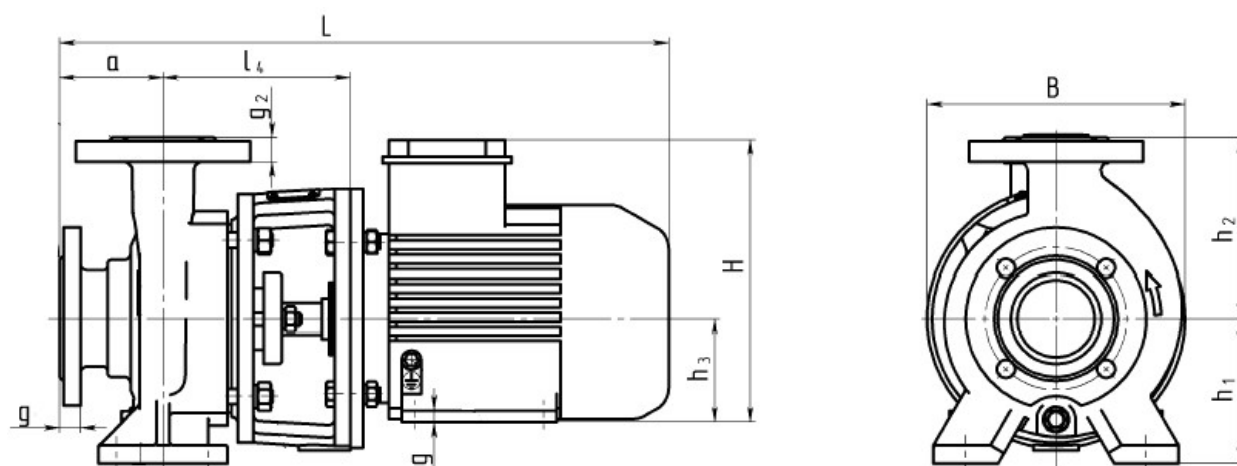


Рис.1.5. Габаритні й приєднувальні розміри насоса

Електронасос	a	g1	g2	L	l4	B	H	h1	h2	h3
КМ 80-50-200	100	22	20	793	193	360	420	160	200	160

Електронасос підключається до електричної мережі через пускозахисну апаратуру. Пускозахисна апаратура повинна відповідати потужності й струму, зазначеному на таблиці електродвигуна.

Пускозахисна апаратури повинна забезпечувати захист електродвигуна: від короткого замикання; від перевантаження; від неповнофазних режимів.

Параметри насоса:

Подача	50 м ³ /г;
Напір	50 м;
Допустимий кавітаційний запас, не більш	4,5 м;
Потужність насоса	6.5 кВт;
ККД насоса	66%;
Тиск на вході	0.6 МПа
Частота обертання	2900 об/хв.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р1

Лист
21

					14.1.4367стЗ.КРБ.ПЗ.Р2		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Ігошин Р.І.			2. Вибір приводного двигуна та способу його управління		
Консультант							
Керівник		Чекунов В.К.					
Зав. каф.		Обрубов А.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						22	
					ННІАЕ НУК		

2. ВИБІР ПРИВОДНОГО ДВИГУНА ТА СПОСОБУ ЙОГО УПРАВЛІННЯ

2.1. Вибір електродвигуна для привода насоса

Робота відцентрового насоса характеризується такими основними параметрами, як продуктивність, напір і споживана потужність.

У даному розділі розглядається привід відцентрового насоса і його характеристики.

При змінному струмі найбільше поширення одержали короткозамкнуті асинхронні двигуни. Відцентрові насоси мають квадратичну залежність моменту опору від швидкості:

$$M \propto \omega^2.$$

При цьому споживана потужність пропорційна кубу швидкості:

$$P \propto \omega^3.$$

Отже відцентрові насоси характеризуються легкими умовами пуску і для їхнього приводу цілком вистачає асинхронного двигуна. Двигуни насосів працюють у тривалому режимі з постійним навантаженням на валу.

Розглянемо електропривод насоса К80-65-100.

Споживана електродвигуном насоса потужність визначається по формулі:

$$P = \frac{Q\gamma(H_{ст} + \Delta H)}{10^{-3} \cdot \eta},$$

де $H_{ст}$ – статичний напір, м;

ΔH – втрати напору в трубопроводі, м;

$\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ – питома вага рідини, що перекачується.

Причому $H_{ст} + \Delta H = H$ – подача насоса.

Для номінального режиму роботи насоса:

$$P = \frac{40 \cdot 9.81 \cdot 29}{10^{-3} \cdot 0.71 \cdot 3600} = 6.50, \text{ кВт.}$$

Аналогічно визначаємо необхідну потужність двигуна для меншої продуктивності насоса. Результати розрахунку зводимо в табл. 2.1.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 23
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. Результати розрахунку потужності двигуна

$Q_i, \%$	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	t_i/t_u	$H_i, \text{м}$	$P_i, \text{кВт}$
100	0.017	0.4	28	6.50
90	0.015	0.2	30	6.25
80	0.013	0.15	32	5.87
70	0.012	0.10	33	5.29
60	0.01	0.05	34	4.67
50	0.008	0.10	35	4.00

Тому що необхідна продуктивність насоса за час циклу змінюється, то двигун вибираємо по середній потужності за цикл роботи.

$$P_{cp} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5 + P_6 t_6}{t_u} =$$

$$= 6.50 \cdot 0.4 + 6.25 \cdot 0.2 + 5.87 \cdot 0.15 + 5.29 \cdot 0.1 + 4.67 \cdot 0.05 + 4.00 \cdot 0.10 = 5.891 \text{ кВт}.$$

При виборі насоса необхідно мати на увазі, що швидкість двигуна в каталогах вказується з точністю $\pm 5\%$. Якщо дійсна швидкість обраного двигуна виявиться на 5% більше зазначеної у каталозі, то через особливості роботи насосів потужність на валу двигуна значно зросте ($\approx 16\%$) і перевищить номінальне значення. Тому при виборі двигуна по каталогу розрахункова потужність збільшується на 16% .

$$P_{ов} = 1.1 P_{cp} = 1.1 \cdot 5.891 = 6.45 \text{ кВт}.$$

Виходячи з приведенного розрахунку вибираємо асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором з наступними параметрами:

Тип двигуна	4AM112M2Y3;
Номінальна потужність	$P_{2H} = 7.5 \text{ кВт};$
ККД	$\eta = 88.0\%;$
Номінальне ковзання	$S = 2.4\%;$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.87;$
Синхронна частота обертів	$n_{1H} = 3000 \text{ об/хв};$
Номінальна частота обертів	$n_{2H} = 2928 \text{ об/хв};$

Критичне ковзання

$$S_{кр} = 17\%;$$

$$m_K = \frac{M_{MAX}}{M_{НОМ}} = 2.3; \quad m_{II} = \frac{M_{ПУСК}}{M_{НОМ}} = 1.5; \quad i_{II} = \frac{I_{II}}{I_{НОМ}} = 7.5;$$

$$r_1 = 0.046 \text{ в.о.}; \quad r'_2 = 0.028 \text{ в.о.}$$

Номинальна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 2928}{30} = 306.62 \text{ рад / с.}$$

Синхронна кутова швидкість:

$$\omega_C = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi \cdot 50}{1} = 314.2 \text{ рад / с.}$$

Номинальний момент двигуна:

$$M_{НОМ} = \frac{1.01 P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}} = \frac{1.01 \cdot 7500}{306.3} = 24.5 \text{ Нм.}$$

Критичний момент двигуна:

$$M_{КР} = M_H \cdot m_K = 24.5 \cdot 2.3 = 56.3 \text{ Н / м.}$$

Для побудови природної механічної характеристики скористаємося уточненою формулою Клоса:

$$M_1 = \frac{2M_{КР}(1 + aS_{КР})}{\frac{S}{S_{КР}} + \frac{S_{КР}}{S} + 2aS_{КР}},$$

де $a = \frac{r_1}{r'_2}$ - коефіцієнт, що виражає відношення активного опору фази

статора r_1 до приведенного значення опору фази ротора r'_2 .

$$a = \frac{0.046}{0.028} = 1.643.$$

Приведемо приклад розрахунку однієї точки механічної характеристики при $S = 1$:

$$M_{11} = \frac{2 \cdot 56.3 \cdot (1 + 1.643 \cdot 0.17)}{\frac{1}{0.17} + \frac{0.17}{1} + 2 \cdot 1.643 \cdot 0.17} = 26.55 \text{ Н / м.}$$

Результати розрахунку інших крапок представлені в таблиці 2.2, а сама характеристика побудована на рис. 2.1.

Приведена механічна характеристика близька до експериментальної на робочій ділянці і має значні погрішності на пусковій ділянці. Тому пускову ділянку характеристики побудуємо по формулі:

$$M = M_{KP} \frac{2 + (S^2 - S_{KP}^2) \cdot \kappa}{\frac{S}{S_{KP}} + \frac{S_{KP}}{S}},$$

$$\text{де } \kappa = \frac{\alpha \left(\frac{1}{S_{KP}} + S_{KP} \right)}{1 - S_{KP}^2} - \text{розрахунковий коефіцієнт;}$$

$$\alpha = \frac{M_{II}}{M_{KP}} = \frac{m_K}{m_{II}} = \frac{1.5}{2.3} = 0.652 ;$$

$$\kappa = \frac{0.652 \cdot \left(\frac{1}{0.17} + 0.17 \right)}{1 - 0.17^2} = 2.005 .$$

Надалі для розрахунків будемо використовувати механічну характеристику $M(S)$, побудовану по останній формулі. Вона представлена на рис.2.1.

Для побудови природної електромеханічної характеристики скористаємося формулою В.А.Шубенко:

$$I_1 = \sqrt{(I_H^2 - I_0^2) \frac{SM}{SM_H}} + I_0 ,$$

$$\text{де } I_0 = I_H \left(\sin \varphi_H - \frac{S_H}{S_{KP}} \cos \varphi_H \right) - \text{струм холостого ходу двигуна А;}$$

$$I_H = \frac{P_{2H} \cdot 1000}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H} - \text{номінальний фазний струм двигуна А;}$$

$$I_H = \frac{7.5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.87 \cdot 0.88} = 14.88 A;$$

$$I_0 = 14.88 \cdot \left(0.475 - \frac{0.024}{0.17} \cdot 0.88 \right) = 5.24 A$$

Результати розрахунку електромеханічної характеристики представлені в табл. 2.2, а характеристика побудована на рис.2.1.

Статичний момент на валу двигуна можна представити у виді:

$$M_{CT} = M_0 + c\omega^2,$$

де $M_0 = 0.2M_{H.HAC}$ – момент торгання насоса $H \cdot m$;

$$M_{H.HAC} = \frac{P_{H.HAC}}{\omega_{H.HAC}} - \text{номінальний момент насоса } H \cdot m;$$

$$c = 0.9 \cdot \frac{M_{H.HAC}}{\omega_{H.HAC}^2} - \text{конструктивний коефіцієнт};$$

$$M_{H.HAC} = \frac{6.5 \cdot 30}{\pi \cdot 2900} = 24.5 H \cdot m;$$

$$M_0 = 0.2 \cdot 24.5 = 4.9 H \cdot m;$$

$$c = 0.9 \cdot \frac{21.5}{303.7^2} = 2.102 \cdot 10^{-4}.$$

$$M_{CT} = M_0 + c(\omega_C \cdot (1 - S))^2$$

Використовуючи дану формулу розраховуємо статичний момент при різних швидкостях обертання двигуна. Результати розрахунків представлені в таблиці 2.2, а графік представлений на рис.2.1. Розрахунок і побудова характеристик зроблена в середовищі MATHCAD і представлений у Додатку.

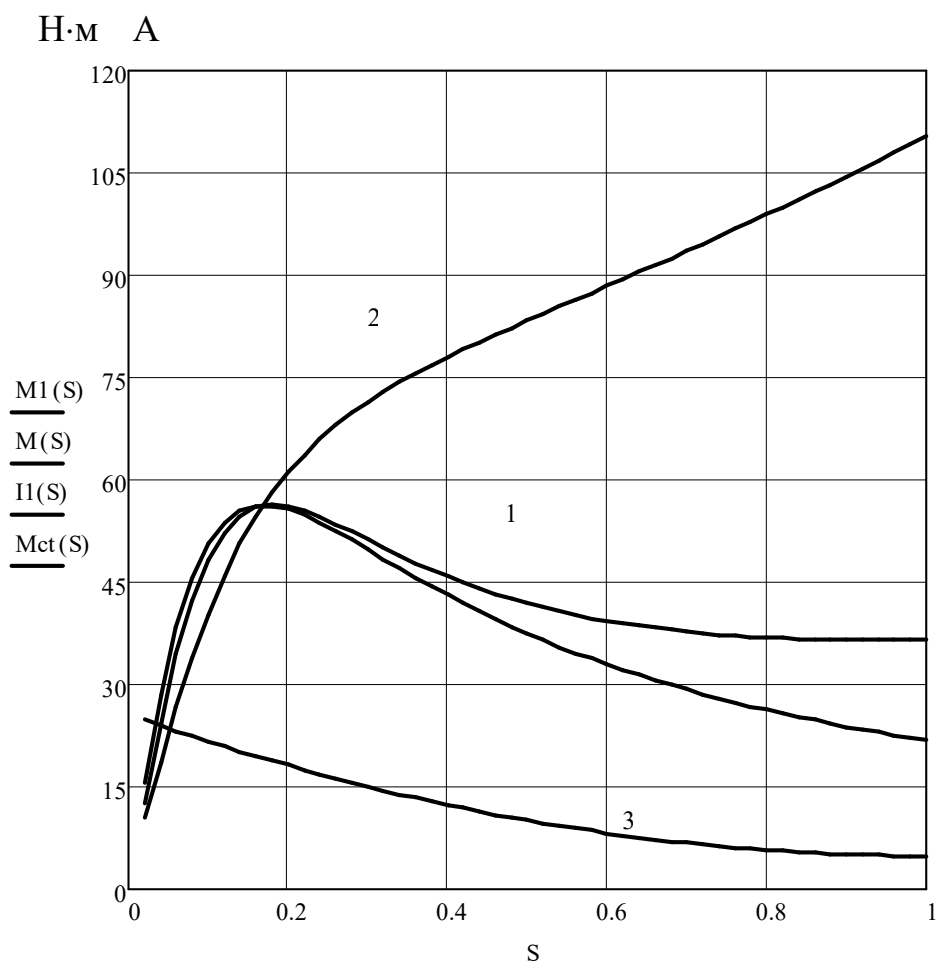


Рис. 2.1. Характеристики асинхронного двигуна:

- 1 – механічна характеристика;
- 2 – електромеханічна характеристика;
- 3 – характеристика моменту опору.

2.2. Регулювання швидкості АД з короткозамкнутим ротором змінною частоти живильної напруги

Для зміни продуктивності насоса з приводом від асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором використовується частотне регулювання.

Як джерело змінної частоти використовується статичний перетворювач на тиристорах (інвертор).

Для обмеження струмів ротора і статора АД, а також збереження незмінної перевантажувальної здатності двигуна, для забезпечення стійкої роботи приводу, зі змінною частоти необхідно відповідним чином змінювати підведену до двигуна напругу.

Перевантажувальна здатність залишиться незмінною, якщо відношення критичних моментів двигуна у всіх режимах буде дорівнює відношенню відповідних статичних моментів, тобто:

$$\frac{M_{CT.i}}{M_{CT.u}} = \frac{M_{KP.i}}{M_{KP.u}}.$$

Якщо підставити в цю формулу значення критичних моментів, то одержимо формулу Костенко:

$$\frac{u_i}{u_u} = \frac{f_{1i}}{f_{1u}} \cdot \sqrt{\frac{M_{CT.i}}{M_{CT.u}}}.$$

З цієї формули випливає, що зі змінною частоти потрібно змінювати і підведену до двигуна напругу, причому закон зміни напруги визначається характером залежності статичного моменту від швидкості.

Закон зміни напруги можна записати так:

$$u_i = u_u \cdot \varphi_i^{\alpha_1},$$

де $\varphi_i = \frac{f_{1i}}{f_{1u}}$ – відносна частота напруги, прикладеної до затисків двигуна;

$\alpha_1 = \frac{2+\alpha}{2}$ – показник ступеня, що визначає закон зміни напруги зі

змінною частоти живильного струму.

Зі зміною частоти буде змінюватися синхронна швидкість:

$$\omega_{cf} = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} \cdot \frac{f_{1i}}{f_{1u}} = \omega_c \cdot \varphi ,$$

а також буде змінюватися індуктивний опір обмоток двигуна:

$$x_{kf} = x_k \cdot \varphi .$$

При цьому рівняння механічної характеристики прийме вид:

$$M_f = \frac{m \cdot u_H^2 \cdot \varphi^{2\alpha_1-2} \cdot r_2'' \cdot S}{\omega_c (r_2'' + S^2 \cdot \kappa_H \cdot \varphi^2)} .$$

Якщо досліджувати отримане рівняння на максимум, то знайдемо:

$$S_{kpf} = \frac{r_2''}{x_k \cdot \varphi} = \frac{S_{kp}}{\varphi} ;$$

$$M_{kpf} = \frac{m \cdot u_H \cdot \varphi^{2\alpha_1-2}}{2 \cdot \omega_c \cdot x_k} .$$

На підставі цих рівнянь можна побудувати механічні характеристики двигуна для будь-яких значень частоти і напруги.

Але побудову механічних характеристик двигуна можна спростити, якщо скористатися формулою Клоса, записаною для даних умов:

$$M_f = \frac{2M_{kp} \cdot \varphi^\alpha}{\frac{S \cdot \varphi}{S_{kp}} + \frac{S_{kp}}{S \cdot \varphi}} .$$

Так як статичний момент навантаження змінюється по квадратичному закону ($\alpha = 2$), то підведену напругу треба змінювати пропорційно квадрату частоти. При цьому:

$$\kappa_M = \frac{M_{kp}}{M_{ct}} = const .$$

По приведених формулах виконаємо розрахунок механічних характеристик асинхронного двигуна для частот:

$$\begin{array}{llll} f_1 = 50 \text{ Гц}; & \varphi_1 = 1; & \omega_{c1} = 314.2 \text{ с}^{-1}; & M_{kp1} = 56.26 \text{ Н} \cdot \text{м}; \\ f_2 = 40 \text{ Гц}; & \varphi_2 = 0.8; & \omega_{c2} = 251.4 \text{ с}^{-1}; & M_{kp2} = 36.01 \text{ Н} \cdot \text{м}; \end{array}$$

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р2	Лист
						30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_3 = 30 \text{ Гц}; \quad \varphi_3 = 0.6; \quad \omega_{c3} = 188.5 \text{ с}^{-1} \quad M_{KP3} = 20.25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$f_4 = 20 \text{ Гц}; \quad \varphi_4 = 0.4; \quad \omega_{c4} = 125.7 \text{ с}^{-1} \quad M_{KP4} = 9.0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приклад розрахунку однієї точки механічної характеристики при $f_1 = 50 \text{ Гц}$ і $\omega_1 = 0 \text{ с}^{-1}$:

$$M_{f1} = \frac{2 \cdot 56.26 \cdot 1^2}{\frac{1 \cdot 1}{0.17} + \frac{0.17}{1 \cdot 1}} = 18.59 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результати подальших розрахунків зведені в таблицю 2.3, а характеристики побудовані на рис.2.2. Розрахунок і побудова графіків також зроблений у середовищі MATHCAD і представлений у Додатку.

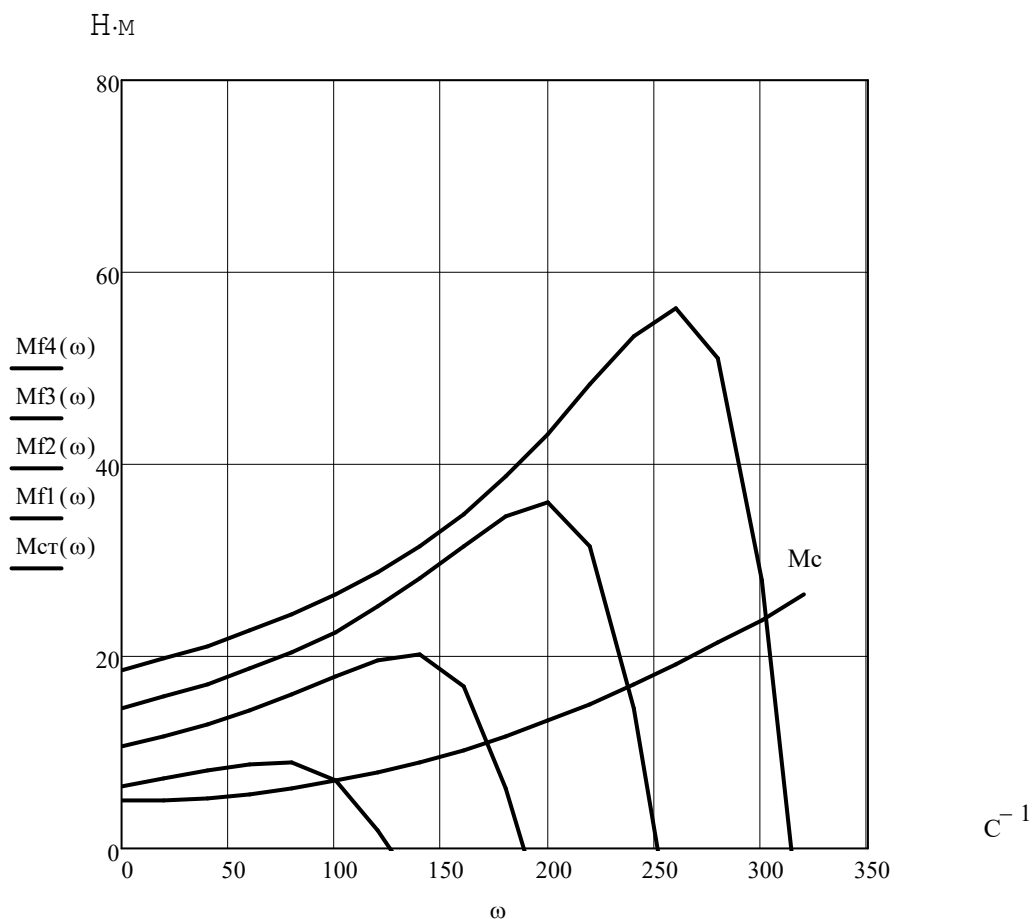


Рис. 2.2. Механічні характеристики двигуна при частотному регулюванні

2.3. Розрахунок перехідних процесів при пуску асинхронного двигуна

Розробка статичних перетворювачів частоти для регульованих електроприводів викликала зростаючий інтерес до перехідних режимів роботи двигуна при змінній частоті живлення. Для одержання загальної системи рівнянь, справедливої в перехідних і статичних режимах, розглядають спрощену модель асинхронного двигуна. Така модель характеризується синусоїдальним розподілом МРС і магнітної індукції по окружності статора і не враховує насичення, втрат від вихрових струмів і гістерезису. Незважаючи на ці спрощення, отримана система диференціальних рівнянь є нелінійною і досить складною. Її можна трохи спростити, використавши двохосьову прямокутну систему координат, однак і ця система при змінній частоті обертання двигуна виявляється нелінійною, що виключає можливість одержання аналітичного рішення в загальному виді. Звичайно для рішення цих рівнянь використовують аналогові або цифрові обчислювальні машини.

Асинхронний двигун виявляє схильність до коливальних перехідних процесів, що можуть виявитися небажаними при частотному керуванні. Установлено, що при прямому пуску двигуна вхолосту його кутова швидкість може перевищити синхронну і потім зробити кілька коливань навколо встановленого значення.

Аналогічні коливання кутової швидкості виникають при швидкій зміні моменту двигуна або його напруги живлення. Встановлено, що коефіцієнт демпфірування цих коливань залежить від частоти напруги живлення. В міру зниження цієї частоти коливання підсилюються, і коефіцієнт демпфірування досягає мінімуму при деякій значенні зниженої частоти, що залежить від моменту інерції електропривода. У звичайних двигунах, призначених для живлення від мережі з частотою 50Гц, демпфірування виявляється найменшим у діапазоні частот 10-20 % номінальної частоти живлення.

Слабке демпфірування коливань погіршує режим роботи двигуна на

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р2	Лист 32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

знижених частотах обертання. Асинхронні двигуни малої потужності можуть навіть виявитися хитливими з цієї причини.

Для полегшення аналізу перехідних процесів вихідну систему диференціальних рівнянь асинхронного двигуна можна спростити шляхом лінеаризації в околиці крапки встановленого режиму. В результаті одержуємо систему лінійних диференціальних рівнянь, що справедливі для малих відхилень від встановленого режиму. Ці рівняння дозволяють досліджувати стійкість роботи двигуна звичайними методами аналізу лінійних систем автоматичного регулювання.

Розроблено багато інших наближених методів аналізу, однак для розрахунку перехідних процесів і визначення стійкості складних схем регульованого електропривода на стадії проектування приходить вирішувати вихідну нелінійну систему диференціальних рівнянь за допомогою ЕОМ.

Для розрахунку перехідних процесів при пуску асинхронного двигуна використовуємо середовище MATHCAD. Графіки перехідних процесів представлені на рис.2.3. Розрахунок перехідних процесів представлений у Додатку.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р2	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2. Результати розрахунку механічної, електромеханічної характеристик двигуна та характеристики опору.

S	$M_l, Н\cdot м$	$M, Н\cdot м$	$I_l, А$	$M_{cm}, Н\cdot м$
1	21,744	36,69	110,25	4,892
0.95	23,769	39,032	108,205	4,949
0.9	24,887	38,978	105,252	5,105
0.85	26,11	39,027	102,358	5,364
0.8	27,452	39,196	99,524	5,727
0.75	28,931	39,504	96,749	6,194
0.7	30,566	39,979	94,032	6,764
0.65	32,379	40,635	91,365	7,438
0.6	34,396	41,519	88,738	8,216
0.55	36,646	42,665	86,134	10,084
0.5	39,158	44,117	83,521	11,173
0.45	41,959	45,922	80,849	12,366
0.4	45,063	48,120	78,04	13,662
0.35	48,453	50,719	74,958	15,063
0.3	52,027	53,639	71,385	16,567
0.25	55,499	56,574	66,948	18,174
0.2	58,163	58,672	61,017	19,886
0.15	58,407	57,917	52,566	21,701
0.10	52,815	50,346	40,158	23,62
0.05	35,355	30,935	22,66	24,55

Таблиця 2.3. Результати розрахунку штучних механічних характеристик
двигуна при зміні частоти

ω, c^{-1}	$Mf1, H \cdot m$	$Mf2, H \cdot m$	$Mf3, H \cdot m$	$Mf4, H \cdot m$
0	18.59	14.64	10.62	6,48
20	19.78	15.78	11.67	7,25
40	21.42	17,11	12.90	8,08
60	22.64	18.65	14,35	8.89
80	24.39	20.46	16,05	7.03
100	26.42	22.60	17,92	1.893
120	28.77	25.13	19.64	-1,98
140	31.54	28.08	20, 16	-4,703
160	34.80	31.38	16.83	-8,552
180	43.18	34.55	6.30	-9,401
200	48.28	35.98	1,08	-8,512
220	53.35	31.44	-8,692	-7,212
240	56.25	14.65	-18,508	-6,457
260	51.10	-11,857	-21,141	-5,812
280	53,372	-31,326	-20,288	-5,85
300	29,183	-37,445	-16,488	-5,267

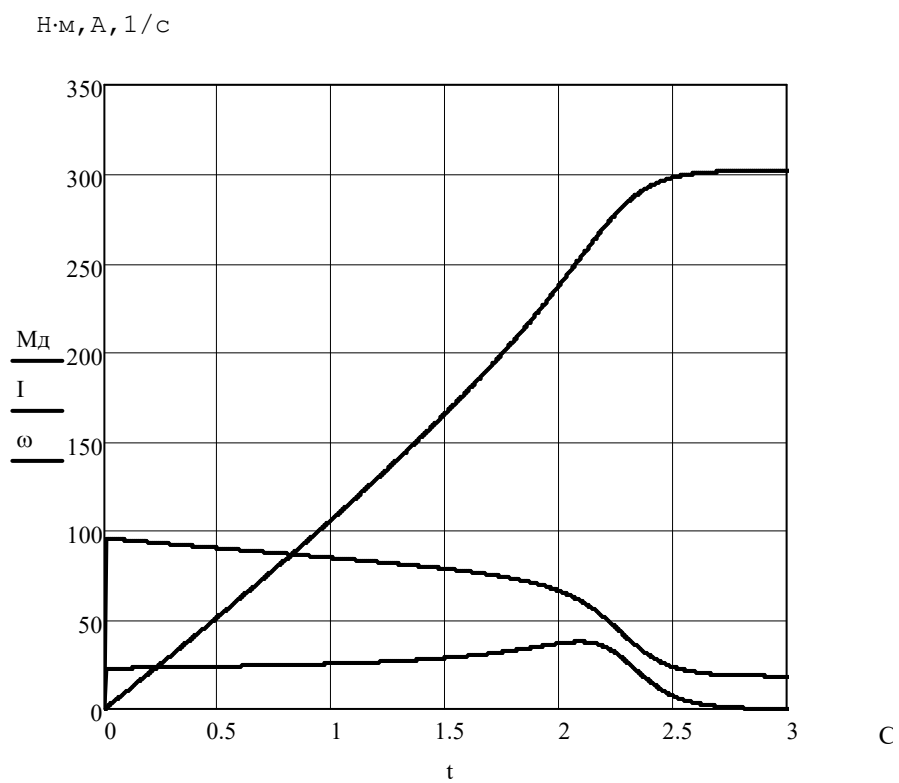


Рис. 2.3. Перехідні процеси при пуску асинхронного двигуна

					14.1.4367стЗ.КРБ.ПЗ.РЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Ігошин Р.І.			3. Вибір і розрахунок силової схеми інвертора				Літ.	Арк.	Аркушів	
Консультант											37	
Керівник		Чекунов В.К.							ННІАЕ НУК			
Зав. каф.		Обрубов А.В.										

3. ВИБІР І РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ СХЕМИ ІНВЕРТОРА

Наявність в АІН вузлів іскусвенної комутації, що дозволяють забезпечити закривання тиристора в будь-який заданий момент часу, відкриває широкі можливості по використанню принципів керування, спрямованих на покращення регулюючих властивостей як самого інвертора, так і електропривода в цілому. Це в першу чергу відноситься до автономних інверторів із широтно – імпульсною модуляцією (ШІМ), вибір і розрахунок такого АІН буде зроблений у цьому розділі.

3.1. Вибір схеми автономного інвертора напруги.

У трьох фазних АІН із ШІМ моменти комутації тиристорів, що формують напругу різних фаз, можуть бути ніяк не зв'язані між собою, тобто пари тиристорів 1-2, 3-4, 5-6 можуть працювати незалежно одна від іншої і навіть на різних несущих частотах. Єдиною необхідною умовою при цьому є виконання закону модуляції. Закон модуляції для фаз А, В, С трифазного АІН може бути записаний у такий спосіб [11]:

$$\begin{aligned}\frac{\Delta t_{1A} - \Delta t_{2A}}{\tau} &= \mu \sin \omega_s t; \\ \frac{\Delta t_{1B} - \Delta t_{2B}}{\tau} &= \mu \sin(\omega_s t - \frac{2\pi}{3}); \\ \frac{\Delta t_{1C} - \Delta t_{2C}}{\tau} &= \mu \sin(\omega_s t + \frac{2\pi}{3}),\end{aligned}\tag{3.1}$$

де Δt_1 - час включеного стану тиристора анодної групи;

μ – коефіцієнт глибини модуляції, що показує, у яких межах змінюються тривалості інтервалів Δt_1 і Δt_2 в плинні періоду частоти модуляції;

τ – період несущої частоти;

ω_s – кругова частота модуляції.

Однак більш раціональною буде така система, у якій усі тиристори переключаються з однаковою несущою частотою.

Досить прості АІН із груповою комутацією в яких відбувається вимикання одночасно всіх тиристорів АІН. Однак забезпечити з їхньою допомогою режим синусоїдальної ШІМ надзвичайно важко по двох причинах.

По-перше в АІН із синусоїдальною ШІМ завжди існує такий режим, коли відповідно до закону модуляції інтервал часу між комутаціями тиристорів різних фаз менше, ніж час протікання процесу комутації. Внаслідок цей сигнал на повторну комутацію буде поданий раніш, ніж відновиться напруга на комутуючому конденсаторі, що приведе до зриву інвертування. Можна ввести в систему керування додатковий пристрій, що обмежить мінімальний час між сусідніми комутаціями, однак це неминуче приведе до перекручування закону синусоїдальної модуляції.

По-друге, тому що комутація всіх силових тиристорів виробляється одним комутуючим пристроєм, а силових тиристорів в АІН шість, то комутуючий пристрій працює на шестиразовій частоті стосовно несущої частоти. Несуща частота в інверторах із ШІМ досить висока, тому комутуючий пристрій виявиться в досить важкому режимі.

Інвертори з міжфазною комутацією для роботи із синусоїдальною ШІМ непридатні, тому що в цьому випадку необхідно забезпечити комутацію струму між протилежачими тиристорами однієї фази.

Близький до оптимального процес комутації можна сформувати в АІН із двоступінчастою комутацією, у яких крім силових тиристорів присутні допоміжні, призначені для закривання силових тиристорів у заданий момент часу. Інвертори напруги з двоступінчастою комутацією можуть бути виконані за схемою з індивідуальною комутацією, у якій до кожного силового тиристора підключений свій комутуючий пристрій. Такі АІН по своїх властивостях близькі до АІН на цілком керованих вентилях. Звичайно, що в таких схемах

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.РЗ	Лист
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

можна здійснити будь-який закон комутації, у тому числі і синусоїдальну ШІМ [7].

Слід зазначити, що при використанні АІН із двоступінчастою комутацією можливі два різних принципи побудови системи керування. У першому випадку комутується з несущою частотою лише той силовий тиристор, для якого струм фази двигуна в даний момент часу протікає в провідному напрямку. Противолежачий тиристор у цей час виключений і керуючі імпульси на нього не подаються. По закінченні напівперіоду частоти модуляції струм у фазі змінює напрямок і в роботу вступає противолежачий тиристор, перший тиристор у цей час виключений і так далі [1]. Інший спосіб припускає, що незалежно від напрямку струму у фазі по черзі подаються керуючі імпульси на противолежачі тиристори. Обидва способи керування цілком ідентичні по послідовності роботи силових тиристорів і формі вихідної напруги, тому що незалежно від того, поданий керуючий імпульс на тиристор чи ні, він виключений, якщо струм фази протікає стосовно нього в непровідному напрямку. Однак перший спосіб вимагає більш складної системи керування, тому що він припускає наявність датчиків напрямку струму в навантаженні з відповідною логічною схемою.

На рис.3.1 зображена схема автономного інвертора напруги. Відмінністю даної схеми інвертора є те, що в ній комутуючі індуктивності винесені із силового ланцюга і включені послідовно з комутуючими конденсаторами. Це, по-перше, приводить до зниження габаритів індуктивностей і, по-друге, принципово усуває можливість нагромадження енергії, так, як до кінця комутації струм в індуктивності, а отже, і запас енергії, накопиченої в ній дорівнюють нулю. Такий інвертор більш економічний у порівнянні з іншими схемами інверторів, за рахунок менших втрат у дроселях і тиристорах.

Основну частину динамічних втрат (втрати, що мають місце в перехідних режимах, при відкриванні і закриванні тиристорів), у тиристорах для інверторів, складають втрати при відключенні. У даному інверторі ці втрати

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.РЗ	Лист 40
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

малі, тому що під час закривання силового тиристора, зворотна напруга на ньому незначна і обумовлюється спаданням напруги на зворотному вентилі, шунтуючого тиристор. Ця властивість важлива для інвертора із ШІМ, у якому із-за високої частоти комутації тиристорів динамічні втрати в них можуть скласти значну частку інших утрат, однак відсутність зворотної напруги на тиристорі під час його закривання приводить до уповільнення процесу розподілу носіїв заряду, у зв'язку з чим трохи збільшується час поновлення замикаючих властивостей тиристорів [1].

3.2. Розрахунок потужності автономного інвертора напруги

Реактивний опір двигуна визначається по співвідношенню:

$$x_R = \frac{I_H}{I_\Pi} \cdot \sin \varphi_H = \frac{14.8}{111} \cdot \sin 0.495 = 0.063(\text{Ом}) .$$

Діюче значення повного струму при номінальному навантаженні в 1.3 більше діючого значення основної його складової. Тому номінальна тривала припустима потужність інвертора дорівнює:

$$S_{\text{дп}} = (\sqrt{3} U_H I_H \cdot 10^{-3}) \cdot 1.3,$$

де $U_H = 380\text{В}$, $I_H = 14.8\text{А}$ - номінальна напруга і струм електродвигуна відповідно,

$$S_{\text{дп}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 14.8 \cdot 10^{-3} \cdot 1.3 = 7.8\text{кВт} .$$

Короткочасна потужність інвертора повинна бути достатньою для забезпечення пускового і номінального режиму:

$$S_{\text{кр}} = \sqrt{3} U_H I_H \cdot 10^{-3} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 111 \cdot 10^{-3} = 42.1\text{кВт} .$$

3.3. Розрахунок струмів і напруг для основних елементів АІН.

1. Визначаємо середнє значення робочого струму через силовий тиристор:

$$\varepsilon = \frac{f_H}{f_S},$$

де $f_H = 1000 \text{ Гц}$ – несуча частота [11];

$f_S = 125 \text{ Гц}$ - частота модуляції,

$$\varepsilon = \frac{1000}{125} = 8 .$$

Для знаходження середнього робочого струму, за початок координат приймемо момент коли струм навантаження (фази двигуна) проходить через нуль. Вважаємо, що на початку кожного періоду несучої частоти відкривається силовий тиристор і пропускає струм навантаження. Через визначений час силовий тиристор закривається і струм навантаження протікає через вентиль зворотного струму.

Миттєве значення струму навантаження спочатку n -го періоду несучої частоти:

$$i'_{S,n} = I_H \sin \frac{2\pi}{\varepsilon} n,$$

де n – порядковий номер періоду несучої частоти.

Миттєве значення струму навантаження в момент закривання силового тиристора для n -го періоду несучої частоти:

$$i''_{S,n} = I \sin\left(\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \omega_S \Delta t_{1n}\right),$$

де Δt_{1n} – тривалість включеного стану силового тиристора в плинні n -го періоду несучої частоти.

Відповідно до синусоїдального закону модуляції:

$$\Delta t_{1n} = \frac{\tau}{2} \left[1 + \mu \sin\left(\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \varphi_S\right) \right].$$

Тоді середнє значення струму через тиристор за час його відкритого

стану в n – м періоді несучої частоти [16]:

$$I_{TP} = (i'_{s,n} + i''_{s,n}) / 2 = I \sin\left[\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \frac{\pi}{2\varepsilon} [1 + \mu \sin(\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \varphi_s)]\right] \times \\ \times \cos\left[\frac{\pi}{2\varepsilon} [1 + \mu \sin(\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \varphi_s)]\right].$$

Середнє за період частоти модуляції значення струму через тиристор:

$$I_T = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{\varepsilon/2-1} I_{T,n} \Delta t_{1n} = \frac{I}{2\varepsilon} \sum_{n=0}^{\varepsilon/2-1} \sin\left[\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \frac{\pi}{2\varepsilon} [1 + \mu \sin(\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \varphi_s)]\right] \times \\ \times \cos\left[\frac{\pi}{2\varepsilon} [1 + \mu \sin(\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \varphi_s)]\right] [1 + \mu \sin(\frac{2\pi n}{\varepsilon} + \varphi_s)]. \quad 3.2$$

З огляду на, що в даному випадку несуча частота вище частоти модуляції, то формулу цю можна спростити. Підставивши в цю формулу $\varepsilon \rightarrow \infty$, одержимо:

$$I_T = \frac{I_{\Pi}}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega_s t [1 + \mu \sin(\omega_s t + \varphi_s)] d\omega_s t ,$$

чи після перетворень:

$$I_T = \frac{I_{\Pi}}{2\pi} (1 + \frac{\pi\mu}{4} \cos \varphi_s).$$

Максимальне значення коефіцієнта модуляції визначається [16]:

$$\mu_{MAX} = 1 - 4t_B f_H ,$$

де $t_B = 20 \text{ мкс}$ – час вимикання допоміжного тиристора.

$$\mu_{MAX} = 1 - 4 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 0,955 .$$

$$I_T = \frac{111}{2 \cdot 3.14} \cdot (1 + \frac{3.14 \cdot 0.955}{4} \cdot 0.88) = 16.9 \text{ А}.$$

2. Визначимо середнє значення струму через діоди зворотного струму.

$$I_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I \sin \omega_s t \frac{\Delta t_2}{\tau} d\omega_s t ,$$

де Δt_2 - частина періоду несучої частоти, у плині якої струм навантаження проводить вентиль зворотного струму.

Після перетворень:

$$I_{\phi} = \frac{I_{\Pi}}{2\pi} \left(1 - \frac{\pi\mu}{4} \cos \varphi_s\right) = \frac{111}{2 \cdot 3.14} \cdot \left(1 - \frac{3.14 \cdot 0.955}{4} \cdot 0.88\right) = 3.47 A .$$

3. Розрахунок ємності й індуктивності комутуючих конденсаторів і індуктивностей.

Визначаємо ємність комутуючого конденсатора:

$$C = \frac{kI_{\Pi}}{E(\pi - 2 \arcsin \frac{1}{k})} t_B ,$$

де $U_{CO} = E = 380B$ - заряджаюча комутуючий конденсатор напруга;

$$k = \frac{E}{I_{\Pi}} \sqrt{\frac{C}{L}} - \text{приймаємо оптимальний варіант } k = 1.5 .$$

$$C = \frac{1.5 \cdot 111}{380 \cdot (3.14 - 2 \cdot \arcsin \frac{1}{1.5})} \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 3.01 \mu\text{кФ} .$$

Комутуюча індуктивність:

$$L = \frac{E}{kI_{\Pi}(\pi - 2 \arcsin \frac{1}{k})} t_B = \frac{380}{1.5 \cdot 111 \cdot (3.14 - 2 \arcsin \frac{1}{1.5})} \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 0.47 \mu\text{кГн} .$$

3.4. Компенсуючий конденсатор

Тому що випрямляч з однобічною провідністю, компенсація реактивної енергії, споживаної двигуном, за рахунок мережі неможлива. Основним показником того, що реактивна енергія компенсується усередині АІН, є односпрямованість струму, споживаного АІН. У протилежному випадку на шинах джерела живлення можуть виникнути перенапруги, небезпечні для напівпровідникових вентилів. Щоб уникнути цього, на вхід АІН підключають конденсатор значної ємності, що заряджається, коли струм спрямований від АІН до джерела, і розряджається, коли струм спрямований від джерела в АІН.

Для рішення питання про компенсацію реактивної потужності в системі АІН-АД, розрахунку ємності конденсатора, що компенсує, необхідно в першу

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.РЗ	Лист
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

чергу визначити струм, споживаний АІН і знайти залежність цього струму від струму і коефіцієнта потужності двигуна.

У результаті аналізу струмів, усереднених по несучій частоті, у [16] отримана формула, що дозволяє визначити середнє за період несучої частоти значення струму, споживаного від джерела живлення:

$$i_{u,f} = \frac{3}{4} \mu I_{II} \cos \varphi_s = \frac{3}{4} \cdot 0.955 \cdot 111 \cdot 0.88 = 40 A \quad 3.3$$

З цієї формули випливає, що усереднене по несучій частоті значення струму, споживаного від джерела живлення, постійно і позитивно тому не існує такого періоду несучої частоти, на якому середнє значення струму, споживаного від джерела живлення, мало б негативне значення. У такий спосіб у трифазних АІН із ШІМ по синусоїдальному закону реактивна потужність, усереднена по несучій частоті, скомпенсована при всіх значеннях коефіцієнта потужності.

Ємність конденсатора, що компенсує, може бути знайдена по формулі:

$$C_0 = \frac{\int_t^{t+\Delta t} i_n dt}{\Delta u_c}, \quad 3.4$$

де Δt - інтервал часу, на протязі якого струм направлений від АІН до джерела;

$\Delta u_c = 20V$ - припустима перенапруга на конденсаторі.

Вирішивши це рівняння, одержимо:

$$C_0 = \frac{\sqrt{3} \mu I_{II}}{2 f_K \Delta u_c} \sin^2 \frac{\varphi_s - \frac{\pi}{6}}{2} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.955 \cdot 111}{2 \cdot 1000 \cdot 20} \cdot \sin^2 \frac{0.495 - \frac{3.14}{6}}{2} = 3.2_{\mu K\Phi} \quad 3.5$$

Аналіз останнього рівняння (3.5) показує, що:

а) ємність конденсатора, що компенсує, не залежить від вихідної частоти; ця обставина дозволяє використовувати АІН із ШІМ по синусоїдальному закону для роботи на дуже низьких вихідних частотах;

б) ємність конденсатора, обернено пропорційна несучій частоті. Завдяки

тому, що несуча частота досить висока, ємність компенсуючого конденсатора в АІН із ШІМ, як правило менше, ніж в АІН без ШІМ [11].

3.5. Гальмуючий резистор

При генераторному режимі електрична енергія з затискачів АД повинна передаватися в джерело живлення через зворотні некеровані вентилялі. Але як згадувалося раніше (3.4), це не можливо.

Для гасіння енергії виниклої під час генераторного режиму включимо в схему гальмовий резистор. Опір цього резистора вибираємо таким чином, щоб своєчасно не відбувалося запирання випрямляча []

$$R_T = \frac{U_H}{i_{u,f}} = \frac{380}{40.4} = 9.41 \Omega$$

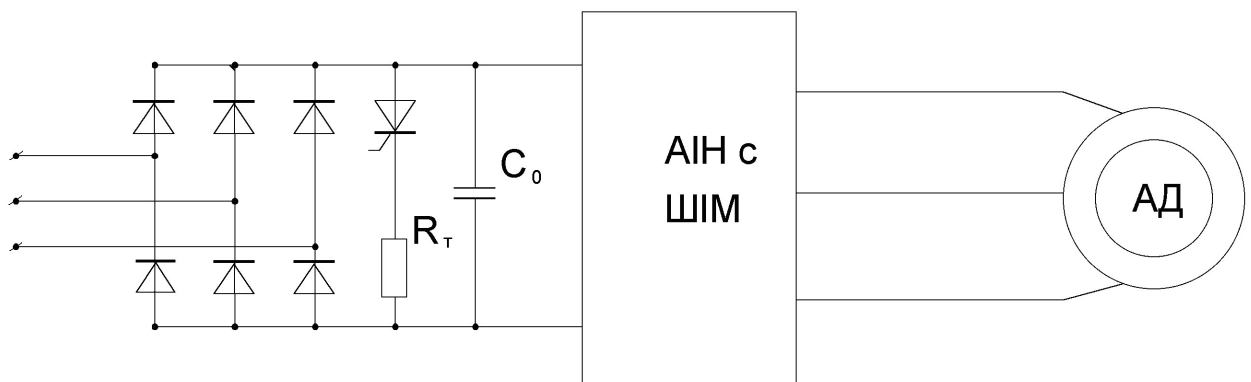


Рис.3.1. Підключення компенсуючого конденсатора і гальмівного резистора

3.6. Вплив інвертора на мережу

У багатьох електричних мережах і системах вентиляльні перетворювачі є одним з основних видів навантаження. Перетворювач є для мережі нелінійним навантаженням, і його робота впливає на режим роботи мережі, особливо якщо потужності перетворювача і мережі порівнянні.

У перетворювачах з ланкою постійного струму з мережі споживається несинусоїдальний струм, тому зазначені пристрої можна розглядати як генератори вищих гармонік струму. Ці струми викликають спадання напруги в опорах мережі і викривляють форму живильного напруги, підведеної до самого перетворювача і до інших споживачів, що знаходяться поблизу. У загальному випадку гармонійні складові на стороні змінного струму інвертора мають порядок $k = n\tau \pm 1$, де τ - кількість тактів інвертора, а n — ціле число. Кількість тактів дорівнює числу тиристорів, що включаються протягом одного періоду частоти мережі. Відповідно до цього шістьфазна однонапів-періодна, так само як і трифазна мостова схема, відноситься до шіститактних. У таких схемах гармоніками з найменшою кратністю є п'ята і сьома. 12-тактний перетворювач одержують шляхом включення на паралельну роботу двох шіститактних груп із взаємним фазовим зрушенням 30° . Аналогічно два 12-тактних перетворювачі з фазовим зрушенням 15° утворять 24-тактну систему. Збільшення числа тактів зменшує зміст гармонік за рахунок зростання їхнього порядкового номера, однак при цьому потрібно строге узгодження роботи перетворювачів. У дійсності через комутаційні процеси амплітуди гармонік зменшуються в порівнянні з теоретичними значеннями, розрахованими для миттєвої комутації. При затриманому відмиканні тиристорів кути комутації зменшуються, що приводить до росту амплітуд гармонійних складових.

Викривлення напруги мережі небажано, тому що це може привести до надмірного нагрівання компенсуючих конденсаторів. На частотах вищих гармонік може виникнути резонанс напруг у ланцюзі, що складається з

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.РЗ	Лист 47
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

послідовно включених емкостей компенсуючих конденсаторів і індуктивностей трансформатора.

Гармоніки можуть також створювати перешкоди в лініях зв'язку і бути причиною миготіння освітлювальних установок. Для того, щоб уникнути цих ускладнень, фахівці з електропостачання вважають, що потужність перетворювача повинна складати невелику частину всього навантаження системи.

Електротехнічна рада Великобританії розробила Рекомендації G.5/2, що встановлюють граничні значення гармонік струму в залежності від напруги мережі. Обмеження, що рекомендуються, отримані шляхом теоретичних розрахунків, доповнених вимірами в реальних мережах. У мережах з напругою 415 В припустимі значення струмів вищих гармонік складають 65 А , для 5-й гармоніки 42 А, для 7-й гармоніки 63 А, для 11-й і 13-й гармоніки 53 А. Для того щоб задовольнити зазначеним вимогам, номінальна потужність перетворювача при $\alpha = 0$ не повинна перевищувати 250 кВт для шостітактної і 750 кВт для 12-тактної схеми. Перетворювачі більшої потужності дозволяється жити тільки від мереж з більш високою напругою.

З метою зниження рівня вищих гармонійних складових у мережі при роботі АІН до мережі підключають фільтрокомпенсуючий пристрій. На рис.3.2 представлена схема такого пристрою, що містить систему багатофазних коливальних LC – контурів з резонансом напруг. Частота резонансу в кожному з цих контурів відповідає частотам найбільш інтенсивних вищих гармонійних складових напруги мережі, обумовлених роботою АІН. У трифазних системах гармоніки, кратні трьом, у силу симетрії відсутні, і гармонійними складовими напруги в мережі бувають 5,7,11 і т.д. Нижчі з них найбільш інтенсивні, тобто 5 і 7 [11].

Резонансна частота контуру L_5C_5 : $\omega_{p5} = 5\omega$. Для цього контуру виконується співвідношення:

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.РЗ	Лист 48
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sqrt{3C_5L_5} = \frac{1}{5\omega}.$$

У контурі L_7C_7 резонанс настає на частоті $\omega_{p7} = 7\omega$, тому:

$$\sqrt{3C_7L_7} = \frac{1}{7\omega}.$$

При резонансі вхідний опір кожного з контурів дорівнює нулю (якщо зневажити втратами в індуктивностях і ємностях) і через них замикаються гармонійні складові струму. На частоті мережі опір контурів L_5C_5 і L_7C_7 має ємнісний характер і конденсатори C_5 і C_7 компенсують реактивну потужність споживану перетворювачем.

На частоті мережі ω опір контурів L_5C_5 і L_7C_7 має ємнісний характер і конденсатори C_5 і C_7 компенсують реактивну потужність споживану перетворювачем. За рахунок цього фільтрокомпенсуючий пристрій не тільки дозволяє знизити переключування форми живильної напруги в мережі, а також зменшити споживання реактивної потужності на основній гармоніці, тому цей пристрій можна вважати також джерелом реактивної потужності.

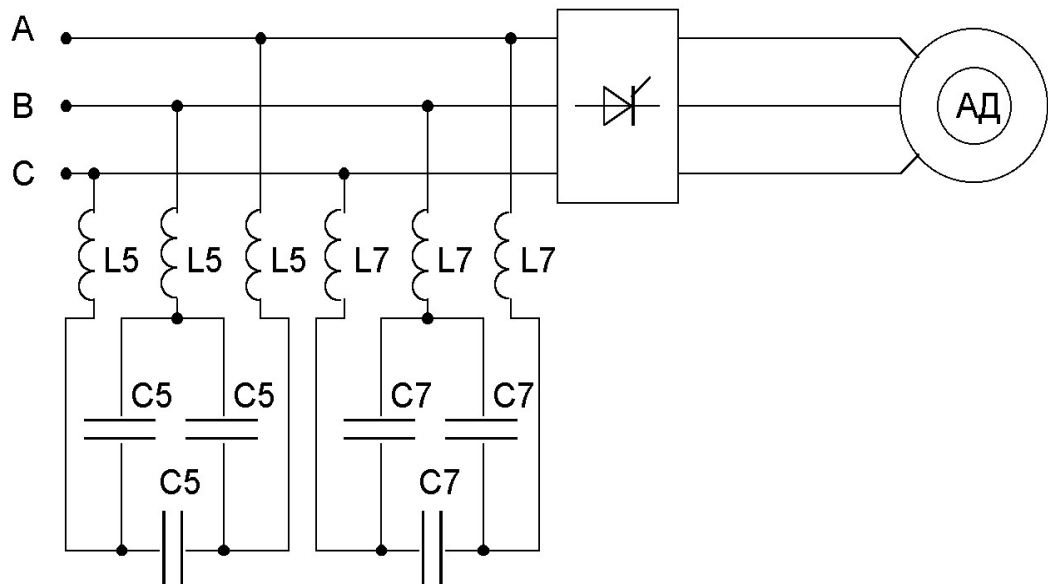


Рис. 3.2. Схема підключення фільтрокомпенсуючого пристрою

3.7. Вибір елементів схеми

Виходячи зі значення струму $I_T = 16.9 A$ вибираємо тиристори:

тип тиристора ВКУ20;
номінальний струм 20 А;
номінальна напруга 400 В;
пряме спадання напруги
при номінальному струмі 1.4 В;
зворотний струм і струм витоку при
номінальній напрузі 20 мА;
час вмикання/вимикання 20 мкс;
номінальний струм керування 300 мА;
номінальна напруга керування 20 В.

Виходячи зі значення струму $I_D = 3.47 A$ вибираємо діоди:

тип діода Д232Б;
максимально допустимий
середній прямий струм 5 А;
допустима постійна
зворотна напруга 400 В;
середня пряма напруга 1.5 В;
постійний зворотній струм
при U_{OBRmax} 3 мА.

					14.1.4367см3.КРБ.ПЗ.Р4		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Ігошин Р.І.			4. Визначення стійкості системи		
Консультант							
Керівник		Чекунов В.К.					
Зав. каф.		Обрубов А.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						51	
					ННІАЕ НУК		

4. ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ

Для того щоб система автоматичного регулювання могла нормально виконувати запропоновані їй функції, необхідно насамперед забезпечити її стійкість. У процесі роботи на систему діють різні сили, що викликають відхилення її від заданого закону руху.

Якщо під впливом збудження система відхилилася від стану рівноваги або заданого закону руху і після припинення дії зовнішнього збудження знову повертається до вихідного стану, то система є стійкою, що сходиться до початкового стану. Якщо під впливом збудження система, будучи відхилена від стану чи рівноваги заданого закону руху, після припинення дії збудження не повертається до початкового стану і при цьому віддалення системи від початкового стану з часом зростає настільки, що відхилення виходить за межі припустимої області, то система є ненадійною. Структурна схема системи показана на рис. 4.1.

4.1. Визначення коефіцієнтів і постійних часу передатних функцій

Електромагнітна постійна часу асинхронного двигуна:

$$T_{en} = \frac{L'_2}{R'_2} = \frac{0.0045}{0.03} = 0.15c.$$

Приймаємо постійну часу АІН рівною $T_{МПІ} = 0.005c.$ [13]

Коефіцієнт підсилення П – регулятора - $K_P = 0.95.$

Коефіцієнт передачі насоса:

$$K_H = \frac{Q_H}{\omega_H} = \frac{0.017}{306.3} = 0.56 \cdot 10^{-4}.$$

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача: .

Коефіцієнт передачі датчика тиску – $K_d = 30.3.$

Фіктивний пусковий момент двигуна $M_{пф} = 25.$

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р4	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо передаточну функцію системи керування асинхронного двигуна шляхом згортання структурної схеми, показаної на рис.4.1.

$$W_1(p) = W_{ТП}(p)W_{АД}(p)K_H = \frac{K_{ТП}}{T_{МТП}p+1} \cdot \frac{M_{ПФ}}{T_{ЭП}p+1} K_P K_H = \frac{K_{ТП} K_H M_{ПФ} K_P}{(T_{МТП}p+1)(T_{ЭП}p+1)}.$$

Передатна функція замкнутої системи:

$$\begin{aligned} W_{сис}(p) &= \frac{W_1(p)}{1+W_1(p)K_D} = \frac{K_{ТП} K_H M_{ПФ} K_P}{(T_{МТП}p+1)(T_{ЭП}p+1)+K_{ТП} K_H M_{ПФ} K_D K_P} = \\ &= \frac{K_{ТП} K_H M_{ПФ} K_P}{T_{МТП}T_{ЭП}p^2 + T_{ЭП}p + T_{МТП}p + 1 + K_{ТП} K_H M_{ПФ} K_D K_P} = \\ &= \frac{31.43 \cdot 5.6 \cdot 10^{-5} \cdot 25 \cdot 0.95}{0.005 \cdot 0.15p^2 + 0.15p + 0.005p + 1 + 31.43 \cdot 5.6 \cdot 10^{-5} \cdot 25 \cdot 30.3 + 1} = \\ &= \frac{4.4 \cdot 10^{-2}}{7.5 \cdot 10^{-4}p^2 + 0.155p + 2.33}. \end{aligned}$$

4.2. Визначення стійкості системи

Для визначення стійкості системи скористаємося критерієм стійкості Гурвіца.

Для того, щоб система була стійкою, необхідно, щоб коефіцієнти характеристичного рівняння були більше нуля ($a_i > 0$) і досить, щоб усі діагональні мінори, складені з визначника Гурвіца, були більше нуля ($\Delta_i > 0$).

Запишемо характеристичне рівняння:

$$7.5 \cdot 10^{-4} p^2 + 0.155p + 2.33 = 0.$$

Визначник Гурвіца являє собою квадратну матрицю n – го порядку, складену з коефіцієнтів характеристичного рівняння:

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} 0.155 & 7.5 \cdot 10^{-4} \\ 0 & 2.33 \end{vmatrix} = 0.155 \cdot 2.33 - 7.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0 = 0.36 > 0,$$

$$\Delta_1 = 0.155 > 0.$$

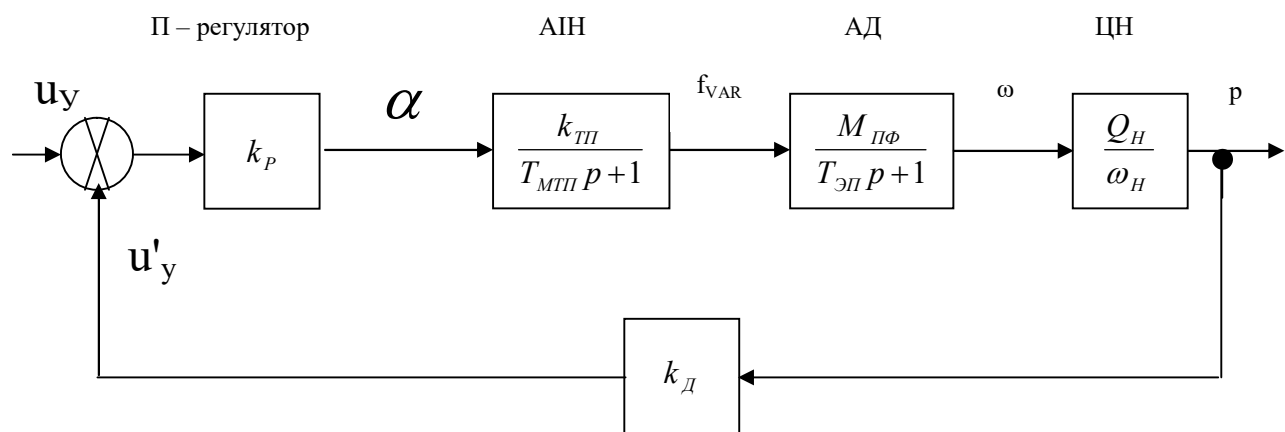


Рис. 4.1. Структурна схема системи

Висновок. Тому що всі діагональні мінори і коефіцієнти характеристичного рівняння більше нуля, то система стійка.

					14.1.4367ст.КРБ.ПЗ.Р5		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Ігошин Р.І.			5. Схема керування АІН		
Консультант							
Керівник		Чекунов В.К.					
Зав. каф.		Обрубов А.В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						55	
					ННІАЕ НУК		

5. ВИКОРИСТАННЯ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ (СПЧ) ДЛЯ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ЗІ ЗМІННОЮ ПРОДУКТИВНІСТЮ

Використання статичних перетворювачів частоти (СПЧ) для керування роботою відцентрових насосів зі змінною продуктивністю є одним з найбільш ефективних способів регулювання продуктивності насосних установок.

Статичний перетворювач частоти змінює частоту й напругу харчування асинхронного електродвигуна насоса. Оскільки швидкість обертання двигуна залежить від частоти живлячої напруги, зміна частоти дозволяє плавно регулювати частоту обертання робочого колеса насоса.

Для асинхронного двигуна використовується залежність:

$$n = 60f/p$$

де n – частота обертання ротора, об/хв;

f – частота живлячої напруги, Гц;

p – число пар полюсів двигуна.

Для відцентрових насосів діють закони подоби:

$$Q1/Q2 = n1/n2;$$

$$H1/H2 = (n1/n2)^2;$$

$$P1/P2 = (n1/n2)^3,$$

де Q – продуктивність насоса;

H – напір;

P – споживана потужність;

n – частота обертання.

Із цих залежностей видно, що навіть невелике зниження швидкості обертання істотно зменшує споживану потужність.

5.1. Основні переваги застосування СПЧ

Енергозбереження

Найбільш важлива перевага – зниження споживання електроенергії. При традиційному дросельному регулюванні двигун працює на повній швидкості, а надлишкова продуктивність гаситься засувками. Частотне регулювання дозволяє змінювати продуктивність безпосередньо зміною швидкості обертання.

Плавний пуск й останов

СПЧ забезпечує: зменшення пускових струмів; зниження механічних ударів; зменшення гідравлічних ударів у трубопроводі; збільшення терміну служби встаткування.

Підвищення надійності системи

Використання перетворювачів частоти зменшує: зношування підшипників; вібрації; теплові перевантаження двигуна; імовірність аварійних режимів.

Автоматизація технологічного процесу

СПЧ легко інтегруються в автоматизовані системи керування й дозволяють підтримувати: постійний тиск; задана витрата; оптимальний режим роботи насосної станції.

5.2. Структура статичного перетворювача частоти та переваги застосування

Типовий СПЧ включає: 1. випрямляч; 2. ланка постійного струму; 3. інвертор; 4. систему керування.

Сучасні перетворювачі будуються на силових напівпровідникових приладах: IGBT-транзисторах; MOSFET-модулях; тиристорах (у потужних установках).

Частотно-частотно-регульовані насосні приводи широко застосовуються в: системах водопостачання; суднових енергетичних установках; нафтогазової

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						57
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

промисловості; теплових мережах; системах кондиціонування й вентиляції; технологічних лініях підприємств.

Недоліки й обмеження

До основних недоліків відносяться: висока вартість устаткування; необхідність електромагнітної сумісності; поява вищих гармонік у мережі; необхідність додаткового охолодження при низьких швидкостях.

5.3. Вибір і розрахунок силової схеми інвертора

Наявність в АІН вузлів іскусвенної комутації, що дозволяють забезпечити закривання тиристора в будь-який заданий момент часу, відкриває широкі можливості по використанню принципів керування, спрямованих на покращення регулюючих властивостей як самого інвертора, так і електропривода в цілому. Це в першу чергу відноситься до автономних інверторів із широтно – імпульсною модуляцією (ШІМ), вибір і розрахунок такого АІН буде зроблений у цьому розділі.

У трьох фазних АІН із ШІМ моменти комутації тиристорів, що формують напругу різних фаз, можуть бути ніяк не зв'язані між собою, тобто пари тиристорів 1-2, 3-4, 5-6 можуть працювати незалежно одна від іншої і навіть на різних несущих частотах. Єдиною необхідною умовою при цьому є виконання закону модуляції. Закон модуляції для фаз А, В, С трифазного АІН може бути записаний у такий спосіб [9]:

$$\frac{\Delta t_{1A} - \Delta t_{2A}}{\tau} = \mu \sin \omega_s t;$$
$$\frac{\Delta t_{1B} - \Delta t_{2B}}{\tau} = \mu \sin(\omega_s t - \frac{2\pi}{3});$$
$$\frac{\Delta t_{1C} - \Delta t_{2C}}{\tau} = \mu \sin(\omega_s t + \frac{2\pi}{3}),$$

де Δt_1 - час включеного стану тиристора анодної групи;

μ - коефіцієнт глибини модуляції, що показує, у яких межах змінюються тривалості інтервалів Δt_1 і Δt_2 вплині періоду частоти модуляції;

τ - період несущої частоти;

ω_s - кругова частота модуляції.

Однак більш раціональною буде така система, у якій усі тиристори переключаються з однаковою несущою частотою.

Досить прості АІН із груповою комутацією в яких відбувається вимикання одночасно всіх тиристорів АІН. Однак забезпечити з їхньою допомогою режим синусоїдальної ШІМ надзвичайно важко по двох причинах.

По-перше в АІН із синусоїдальною ШІМ завжди існує такий режим, коли відповідно до закону модуляції інтервал часу між комутаціями тиристорів різних фаз менше, ніж час протікання процесу комутації. Внаслідок цей сигнал на повторну комутацію буде поданий раніш, ніж відновиться напруга на комутуючому конденсаторі, що приведе до зриву інвертування. Можна ввести в систему керування додатковий пристрій, що обмежить мінімальний час між сусідніми комутаціями, однак це неминуче приведе до перекручування закону синусоїдальної модуляції.

По-друге, тому що комутація всіх силових тиристорів виконується одним комутуючим пристроєм, а силових тиристорів в АІН шість, то комутуючий пристрій працює на шестиразовій частоті стосовно несущої частоти. Несуща частота в інверторах із ШІМ досить висока, тому комутуючий пристрій виявиться в досить важкому режимі.

Інвертори з міжфазною комутацією для роботи із синусоїдальною ШІМ непридатні, тому що в цьому випадку необхідно забезпечити комутацію струму між протилежачими тиристорами однієї фази.

Близький до оптимального процес комутації можна сформувати в АІН із двоступінчастою комутацією, у яких крім силових тиристорів присутні допоміжні, призначені для закривання силових тиристорів у заданий момент часу. Інвертори напруги з двоступінчастою комутацією можуть бути виконані

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р5	Лист 59
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

за схемою з індивідуальною комутацією, у якій до кожного силового тиристора підключений свій комутуючий пристрій. Такі АІН по своїх властивостях близькі до АІН на цілком керованих вентилях. Звичайно, що в таких схемах можна здійснити будь-який закон комутації, у тому числі і синусоїдальну ШІМ [12].

Слід зазначити, що при використанні АІН із двоступінчастою комутацією можливі два різних принципи побудови системи керування. У першому випадку комутується з несущою частотою лише той силовий тиристор, для якого струм фази двигуна в даний момент часу протікає в провідному напрямку. Протилежачий тиристор у цей час виключений і керуючі імпульси на нього не подаються. По закінченні напівперіоду частоти модуляції струм у фазі змінює напрямок і в роботу вступає протилежачий тиристор, перший тиристор у цей час виключений і так далі [12]. Інший спосіб припускає, що незалежно від напрямку струму у фазі по черзі подаються керуючі імпульси на протилежачі тиристори. Обидва способи керування цілком ідентичні по послідовності роботи силових тиристорів і формі вихідної напруги, тому що незалежно від того, поданий керуючий імпульс на тиристор чи ні, він виключений, якщо струм фази протікає стосовно нього в несправному напрямку. Однак перший спосіб вимагає більш складної системи керування, тому що він припускає наявність датчиків напрямку струму в навантаженні з відповідною логічною схемою.

На рис.5.1 зображена схема автономного інвертора напруги. Відмінністю даної схеми інвертора є те, що в ній комутуючі індуктивності винесені із силового ланцюга і включені послідовно з комутуючими конденсаторами. Це, по-перше, приводить до зниження габаритів індуктивностей і, по-друге, принципово усуває можливість нагромадження енергії, так, як до кінця комутації струм в індуктивності, а отже, і запас енергії, накопиченої в ній дорівнюють нулю. Такий інвертор більш економічний у порівнянні з іншими схемами інверторів, за рахунок менших втрат у дроселях і тиристорах.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р5	Лист 60
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Основну частину динамічних втрат (втрати, що мають місце в перехідних режимах, при відкриванні і закриванні тиристорів), у тиристорах для інверторів, складають втрати при відключенні. У даному інверторі ці втрати малі, тому що під час закривання силового тиристора, зворотна напруга на ньому незначна і обумовлюється спаданням напруги на зворотному вентиля, шунтуючого тиристор. Ця властивість важлива для інвертора із ШІМ, у якому із-за високої частоти комутації тиристорів динамічні втрати в них можуть скласти значну частку інших утрат, однак відсутність зворотної напруги на тиристорі під час його закривання приводить до уповільнення процесу розподілу носіїв заряду, у зв'язку з чим трохи збільшується час поновлення замикаючих властивостей тиристорів [9].

Автономний інвертор напруги повинен виконувати такі функції:

- а) плавне регулювання вихідної частоти від 0 до максимального значення при збереженні незмінного фазового зрушення $2\pi/3$ між першими гармоніками вихідних напруг різних фаз у всьому діапазоні регулювання частоти;
- б) регулювання коефіцієнта модуляції від 0 до максимального значення;
- в) закон модуляції повинний максимально наближатися до синусоїдального.

При розробці систем керування АІН із ШІМ через їхню порівняльну складність впливає можливість ширше використовувати інтегральні мікросхеми й уніфіковані пристрої на їхній базі, тому що це дозволить зменшити габарити системи, підвищити її надійність і істотно спростити технологію серійного виготовлення і налагодження.

У кваліфікаційній роботі пропонується схема керування АІН із ШІМ, яка представлена на рис 5.2.

При зміні U_f , що знімається з датчика тиску, у генераторі керованому напругою (ГКН) на виході змінюється частота імпульсів.

Двійковий лічильник K115ИЕ4 перераховує ці імпульси і подає сигнал на ПЗУ K573РФ1, у якому запрограмована формула імпульсів ШІМ.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р5	Лист 61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо фазу А (виходи ПЗУ 9 і 10). З виходу 9 знімаємо сигнал А, і з 10 – А. Тиристор працює в ключовому режимі, на виході тиристора сигнал А складається із сигналом U_m (який відповідає за зміну напруги при зміні частоти).

Операційний підсилювач виконує роль генератора трикутних імпульсів.

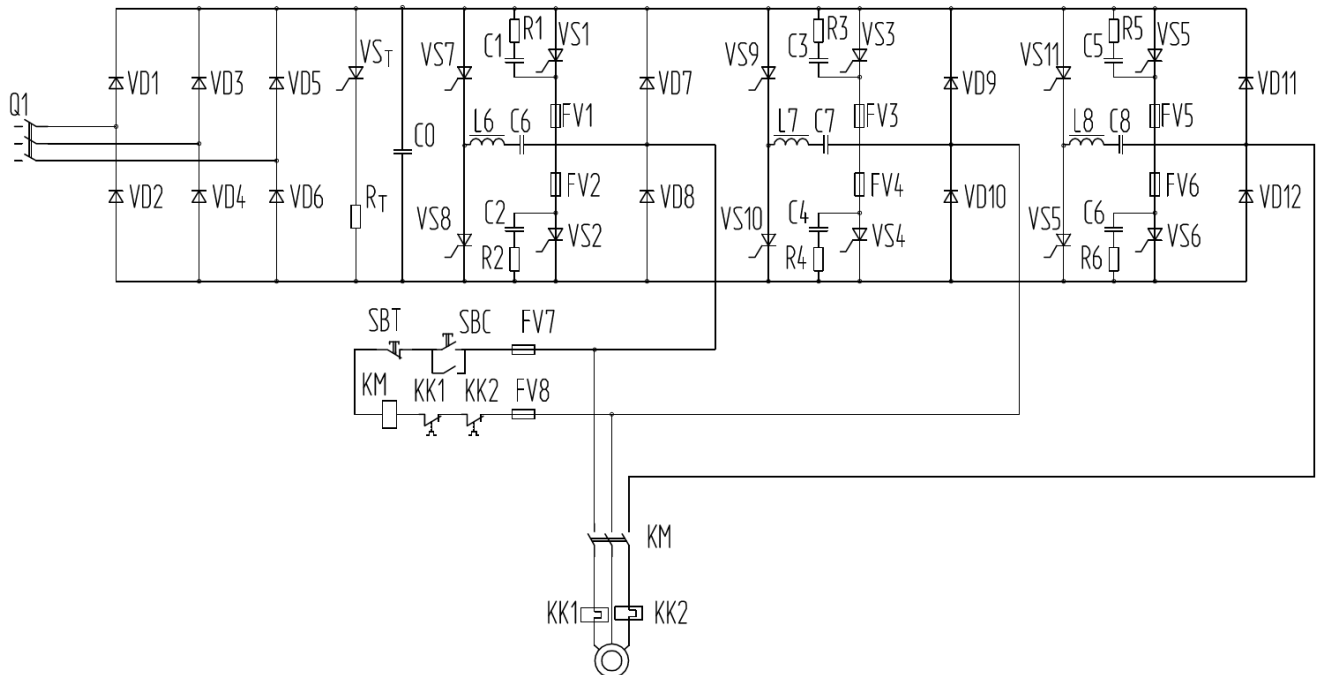


Рис. 5.1. Силова схема інвертора

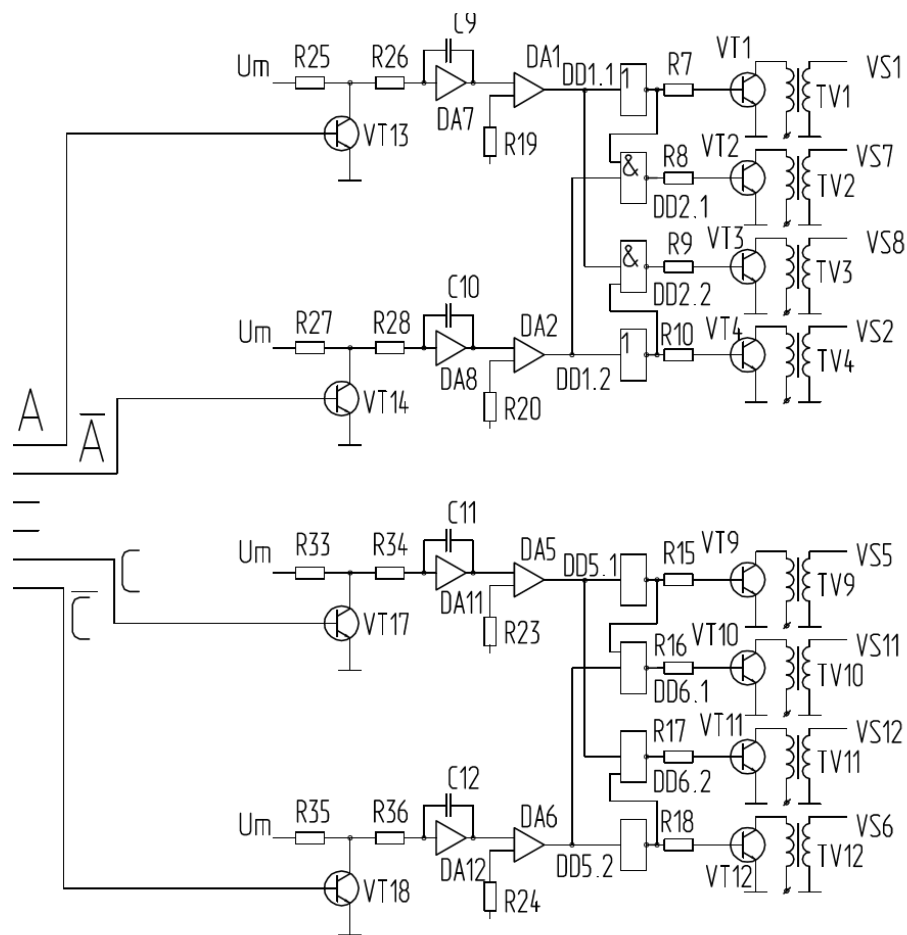


Рис.5.2. Схема керування інвертором

Компаратор проводить порівняння сигналу виданого операційним підсилювачем і $U_{оп} = 20B$, а потім видає імпульси.

За допомогою логічних елементів подається сигнал на тиристор 8, він відкривається і закриває тиристор 2, потім відкривається силовий тиристор 1, потім подається сигнал на відкривання тиристора 7, що закриває силовий тиристор 1. Після цього знову подається сигнал на тиристор 2 і так далі.

Сигнали на відкривання тиристорів подаються через трансформатори струму, що підсилюють струм відкривання до 300 мА [9].

5.4. Перетворювач частоти з рекуперацією на основі оборотного перетворювача напруги

У схемі на рис 5.3 є два оборотних перетворювача напруги (ОПН). ОПН1 працює у випрямному режимі й передає енергію через ОПН2, що працює в

інверторному режимі, до двигуна. При гальмуванні ОПН2, підключений до двигуна переходить у випрямний режим, а ОПН1, підключений до мережі, в інверторний режим. При цьому відбувається рекуперація енергії в мережу. Якщо задати схемі керування на вході $\cos\phi = \pm 1$, то у всіх режимах при регулюванні й гальмуванні двигуна з мережі буде споживатися або в мережу буде віддаватися практично тільки активна потужність, а струм буде практично синусоїдальний, що визначає мінімальний шкідливий вплив на живильну мережу. Ці перетворювачі на сьогоднішній день є найближчими до ідеального.

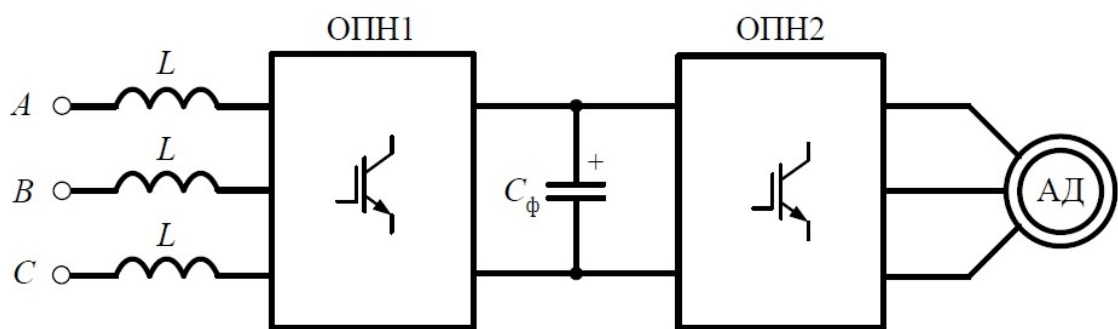


Рис. 5.3. Перетворювач частоти з рекуперацією

Структурна схема перетворювача з блоками керування представлена на рис. 5.4. В схемі є наступні елементи: ОПН1, підключений до мережі, ОПН2, підключений до двигуна, датчики струму й напруги ДТ1 і ДН1 на стороні мережі й ДТ2 і ДН2 на стороні постійної напруги. Необхідна потужність на стороні постійної напруги визначається виміром середніх значень U_d й I_d , а потім і потужності P_d за допомогою обчислювача ВМ, куди надходять сигнали із ДН2 і ДТ2 через фільтр Ф. За діючим значенням напруги мережі U_1 , за допомогою обчислювача напруги ВН, і з урахуванням заданого кута ϕ_1 визначається струм $I_{1\text{зад}}$, що забезпечує задану потужність. Блок ФСН формує синусоїдальну напругу, що повторює напругу мережі, а блок « ϕ_1 » формує задану синусоїду з урахуванням фазового зрушення ϕ_1 . У блоці «ЗАД i_1 » формується задана синусоїда струму. У модуляторі М вона рівняється із сигналом датчика струму ДТ1 i_1 , і формуються керуючі імпульси, які через

[illegible]

Переваги двозвенного рекуперируючого ПЧ: незалежність вихідної частоти від вхідний, можливість одержання високого коефіцієнта потужності на стороні мережі. До недоліків можна віднести високу вартість, складність системи керування.

Використання статичних перетворювачів частоти для керування відцентровими насосами зі змінною продуктивністю дозволяє значно підвищити енергетичну ефективність, надійність й якість регулювання насосних систем. Особливо ефективним частотне керування є в установках зі змінним графіком навантаження, де потрібне часта зміна витрати робітничого середовища.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р5	Лист
						65
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

					14.1.4367стЗ.КРБ.ПЗ.Р6		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Ігошин Р.І.			6. Охорона праці		
Консультант							
Керівник		Чекунов В.К.					
Зав. каф.		Обрубов А.В.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						66	
					ННІАЕ НУК		

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — система правових, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Адаптація законодавства України до законодавства ЄС у сфері охорони праці почалася з прийняттям Закону України "Про охорону праці" в редакції 2002 р. Новий Закон у більшості випадків відповідає певним положенням законодавства Євросоюзу. Дія Закону поширюється на всіх підприємців, які використовують найману працю, включаючи приватних осіб. Цей Закон зробив більш жорсткими вимоги до всіх роботодавців щодо створення безпечних та здорових умов праці. Він установлює персональну відповідальність роботодавців за дотримання норм охорони праці.

Право на охорону праці належить до невід'ємних прав людини, записаних у фундаментальних міжнародних документах, таких, як Загальна декларація прав людини ООН (1948 р.) та Міжнародний пакт ООН про економічні, соціальні та культурні права 1976 р.

У глобальній стратегії ВООЗ "Охорона праці для всіх" пропонуються такі напрями роботи з охорони праці:

- уникнення ризиків (профілактика);
- безпечні технології;
- оптимізація умов праці;
- інтеграція виробництва та роботи з охорони праці;
- основна відповідальність роботодавця та підприємця за охорону праці на робочому місці;
- визнання особистої зацікавленості працівника в забезпеченні охорони праці;
- співпраця роботодавців та працівників на рівних засадах;
- право участі в рішеннях стосовно власної роботи;

- право знати та принцип прозорості;
- безперервне вдосконалення та розвиток охорони праці.

Принципи охорони праці також відображені в законодавстві Євросоюзу, про охорону праці, зокрема в Рамковій директиві 89/391/ЄЕС від 12.06.1989 р. "Про впровадження заходів для поліпшення безпеки та охорони здоров'я працівників під час роботи".

Метою політики охорони праці є зведення до мінімуму показників виробничого травматизму та професійних захворювань. Ця мета набула нових форм у ЄС протягом останніх років і поширилася сьогодні до пропаганди "добробуту на роботі", що означає моральний, фізичний та соціальний добробут, а не лише відсутність нещасних випадків та професійних захворювань.

Крім того, необхідно також досягти низки допоміжних цілей:

- профілактика соціальних ризиків (стресів, домагань на робочому місці, депресій та роздратування, а також ризиків, які пов'язані з алкогольною, наркотичною залежністю);
- аналіз ризиків, пов'язаних із роботою, а також ергономічні, психологічні та соціальні ризики;
- урахування змін у формах зайнятості, організації роботи та робочого часу працівників з нестандартною та тимчасовою зайнятістю;
- урахування розмірів підприємства (конкретні заходи щодо інформування, підвищення рівня обізнаності, програм попередження ризиків на малих та середніх підприємствах, приватних підприємств, домашньої обслуги тощо);
- інтенсивна профілактика професійних захворювань (спричинених азбестом, втрата слуху, проблеми опорно-рухового апарату);
- урахування демографічних змін;
- урахування "гендерного фактора" (специфічних характеристик жінок з точки зору охорони здоров'я та безпеки на робочому місці).

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист 68
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Політика охорони праці Європейського співтовариства засновується на превентивних підходах, які передбачають залучення всіх учасників, у тому числі працівників, з метою розвитку культури попередження ризиків: освіта, обізнаність та профілактика.

Право кожного працівника на умови праці, котрі не шкодять його здоров'ю, гарантують безпеку та честь, визнано невід'ємним правом кожного громадянина, як записано в Хартії Євросоюзу про основні права людини 2000 р.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України «Про охорону праці», «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку», «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист», «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення», а також Кодекс законів про працю України (КЗпП)

6.1. Безпека експлуатації електротехнічних пристроїв

Основними умовами забезпечення безпеки при користуванні електрообладнання є:

- справність і надійність роботи систем автоматики, сигналізації, контролю, вимірювання та захисту;
- відмінне знання обслуговуючим персоналом пристрою електрообладнання та правил його користування;
- регулярний інструктаж та перевірка знань з електробезпеки.

Для забезпечення безпомилкової орієнтації, визначення роду струму та фази кабелі та проводи трас маркуються, а шини фарбуються у відповідні кольори.

При проведенні ремонтних робіт та профілактичних операцій з обладнанням усі роботи за ступенем електробезпеки розподіляються на виконані без зняття напруги, при частково або повністю знятій нарузі.

Необхідні міри обачності при проведенні цих видів робіт в залежності від конкретних умов викладені у правилах техніки безпеки. Цими правилами

передбачено, що всі роботи з огляду та ремонту електрообладнання мають проводитись за повністю знятій напрузі. Робота без зняття напруги дозволяється лише в аварійних випадках за участю старшого електромеханіка і з точним дотриманням усіх заходів, що забезпечують безпеку їх виконання.. На електрообладнанні, встановленому у вогких, вибухо- та пожежонебезпечних приміщеннях, проводити роботи без повного зняття напруги суворо забороняється.

Обслуговування працюючих електричних машин і перетворювачів здійснює механік та, якщо це передбачено штатним розкладом, електрик. При обслуговуванні електричних машин необхідно дотримуватися мір обачності від ураження електричним струмом, рекомендованих правилами техніки безпеки.

При ремонті механізму (без його розбірки), що працює від електродвигуна, він має бути зупинений, а на його пусковому пристрої вивішена табличка «Не вмикати – працюють люди!». Усі від'єднані від електричної машини фази кабелю треба закоротити та заземлити.

Стан ізоляції електричних машин, приводів, кабелів та радіотехнічних пристроїв має систематично контролюватися. Зазвичай для перевірки рівню опору ізоляції використовують мегомметри. Перевірка опору ізоляції має проводитися лише при знятій напрузі не рідше одного разу на місяць. У випадку виявлення пробою ізоляції, а також зниження її опору нижче за допустимі норми необхідно вимкнути електротехнічний пристрій та з урахуванням умов плавання провести відновлення ізоляції. Опір ізоляції вимірюється як відносно корпусу, так і між струмопровідними частинами установок, що знаходяться в експлуатації. Згідно правил, опір ізоляції визначається залежно від робочої напруги.

Головні розподільчі щити, пульти та станції керування мають бути постійно замкнені на замок. Входити за головні розподільчі щити та щити керування особам, що не допущені до їх обслуговування заборонено. Перед початком робіт з розподільчими пристроями, пультами керування, щитами а

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист
						70
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

також будь-якою комутаційною апаратурою необхідно впевнитися у тому, що палуба біля них, а також у проходах біля щитів за усією їхньою довжиною вкрита діелектричними килимками. Перед початком робіт з обслуговування комутаційних пристроїв з автоматичним приводом і дистанційним керуванням з метою попередження помилкового або випадкового їх вмикання необхідно зняти запобіжники усіх фаз ланцюгів керування та вивісити таблички на ключах дистанційного керування «Не вмикати – працюють люди!». Роботу з очищення розподільчих пристроїв без зняття напруги рекомендується проводити за допомогою спеціальних щіток або пілососів, укомплектованих шлангом з ізоляційним наконечником. Робота виконується тільки у діелектричних печатках.

6.2. Шум та вібрація

Насичення сучасних систем енергетичним обладнанням і системами нових видів, що зазвичай мають високу віброакустичну активність, нерідко призводить до різкого підвищення рівню шуму і вібрації в робочих приміщеннях. Шум є найбільш розповсюдженим та важко усуваним шкідливим виробничим фактором. Високий рівень шуму і вібрації особливо характерний для приміщень з розташуванням у безпосередній близькості до енергетичної установки, котрі становлять одне з основних джерел шуму та вібрації. Найбільш високі рівні шуму зафіксовані з енергетичною установкою, обладнаною середньо та високообертовними двигунами внутрішнього згоряння та двигунами з вільнопоршневими генераторами газу.

Сильні шум та вібрація погіршують умови праці, негативно впливаючи на людський організм та знижуючи продуктивність праці. Діючи на центральну нервову систему, шум чинить шкідливий вплив на весь організм людини. Довготривалий та інтенсивний шум впливає на органи слуху, призводячи іноді до глухоти, викликає серйозні розлади нервово-психічної та серечно-судинної

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист
						71
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

діяльності організму. Втомлення працюючих через сильний шум сприяє уповільненню швидкості психічних реакцій, що підвищує кількість помилок при роботі і може стати причиною аварій робочих механізмів та може стати причиною травматизму особового складу.

Ступінь шкідливості шуму та вібрації визначається їх інтенсивністю та тривалістю дії на людину. З цієї точки зору у найбільш несприятливих умовах знаходяться члени машинно-котельних команд, що несуть ваhti у машинно-котельних відділеннях, не обладнаних системами дистанційного автоматичного керування енергетичною установкою.

Інтенсивний шум в машинних відділеннях, де встановлені двигуни підвищеної шумності, значно знижує чутність та погіршує сприйняття мови, що може стати причиною нещасних випадків. Так, при рівні шуму в машинному відділенні у 110-115 дБ, сприйняття вахтеним мови та усних команд різко знижується, а при рівні понад 116 дБ повністю припиняється.

Інтенсивний вплив вібрації, як і шуму, не тільки погіршує самопочуття людини, але й часто призводить до погіршення її здоров'я: порушення обміну речовин, зниження гостроти зору та слуху. В робочих умовах загальна вібрація організму передається внутрішньому вуху людини шляхом кісткової провідності. Тривала робота з обладнанням, що створює підвищений рівень вібрації, може призвести до тяжких професійних захворювань.

Зменшення шкідливого впливу шуму та вібрації здійснюють за наступними напрямками: зменшення шуму та вібрації у джерелах виникнення; зміна спрямованості шуму (екранування) або його ізоляція, поглинення шуму, раціональне планування робочих приміщень та їх віброакустична обробка.

До числа найбільш ефективних заходів щодо зниження шуму та вібрації у джерелах виникнення можна віднести наступні: підвищення віброакустичних характеристик машин та механізмів при їх конструюванні та виготовленні; впровадження нових матеріалів з високими демпфуючими властивостями; використання примусового змащування поверхонь тертя; поліпшення

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист
						72
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

віброакустичних характеристик насосів, вентиляторів та робочих систем вентиляції та кондиціонування повітря; використання віброізоляції та активного захисту.

Віброізоляція створюється шляхом введення до коливальної системи додаткового пружного зв'язку, що перешкоджає розповсюдження вібрацій від джерела (амортизатори, амортизаторні гнучки вставки та ін).

Необхідно зазначити, що проведення заходів щодо зменшення вібрації призводить до зниження шуму.

Ефективним засобом боротьби з шумом також є попередження його поширення у навколишнє середовище. Це досягається шляхом використання засобів акустичного захисту.

6.3. Освітленість робочих приміщень

Забезпечення необхідної освітленості робочих приміщень займає важливе місце в системі заходів з покращення умов праці і профілактики травматизму.

Хороша освітленість сприяє підвищенню продуктивності праці та позитивно впливає на умови зорової роботи, знижуючи можливість помилкових дій та неправильних реакцій операторів на показники приладів.

До освітлення робочих приміщень висуваються підвищені вимоги не тільки гігієнічного, а й техніко-економічного характеру, так як невдалий вибір світильників або недостатня освітленість контрольно-вимірювальних приладів можуть являтися причинами нещасних випадків та аварій.

В залежності від джерела світла освітлення може бути природним, створеним сонцем та дифузним світлом небесного випромінення, та штучним, створеним електричними освітлювальними приладами. Необхідна освітленість робочих приміщень визначається їх призначенням та характером виконаних робіт.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист
						73
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Платформи мають по можливості бути забезпечені природним освітленням через ілюмінатори, вікна, світлові фон арі та люки. Ця вимога зумовлена тим, що в спектрі сонячного світла знаходиться необхідна кількість ультрафіолетових променів, що чинять благотворний вплив на людський організм. Окрім того, висока дифузність природного освітлення створює добрі умови для органів зору, знижує їх втомлюваність та сприяє підвищенню продуктивності праці.

У зв'язку зі специфічною особливістю планування робочих приміщень не завжди вдається забезпечити їх природним освітленням у відповідності до санітарних норм. Тому у всіх робочих приміщеннях передбачене і штучне освітлення, котре може бути загальним рівномірним, місцевим (локалізованим) та комбінованим.

Загальне освітлення використовується у приміщеннях, де необхідно створити рівномірне освітлення за усією площею (службово-виробничі та житлові приміщення).

Місьцеве, або локалізоване освітлення призначено для створення необхідного освітлення окремих робочих місць. Воно створюється стаціонарними або переносними освітлювальними приладами, що розташовуються безпосередньо біля робочих місць (верстатів, пультів керування, приладних панелей).

Комбіноване освітлення об'єднує у собі елементи загального та локалізованого. Використання місцевого освітлення в приміщеннях із значною площею не рекомендується.

Для підтримання мінімальної, достатньої для роботи освітленості, у випадку несподіваного короткочасного відключення робочого освітлення передбачене аварійне освітлення. Воно повинно мати освітленість не менш як 10% інтенсивності основного освітлення і бути достатнім для проведення аварійних робіт та безпечної евакуації людей. Аварійне освітлення живиться електроенергією від акумуляторних батарей або автономного дизель-

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист 74
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

генератора, що запускається автоматично одночасно з відключенням (знеструмленням) освітлювальної мережі.

Правилами рекомендовано місця обов'язкового встановлення світильників аварійного освітлення, а також правила профілактичного огляду і контролю роботи усієї системи.

В якості джерел світла для освітлення робочих приміщень застосовуються лампи розжарювання та газорозрядні лампи.

Лампи розжарювання, що відносяться до джерел світла мають ряд переваг: простота конструкції та експлуатації, відсутність додаткових пристроїв для вмикання до мережі, коротка тривалість розжарювання та ін. Суттєвими недоліками ламп розжарювання є низький ККД та малий строк служби (до 1 тис. год.). Різними технологічними вдосконаленнями (йодові, криптоно-неонові лампи) вдається підвищити їх строк служби до 3 тис. год. Та збільшити світлову віддачу до 30 лм/Вт

Використовувані газорозрядні лампи, в котрих випромінення виникає в результаті електричного розряду в атмосфері інертних газів або парів металу, мають ряд переваг перед лампами розжарювання. Вони економічні і мають значний строк служби (8-14 тис. год.), а також характеризуються високою світловою віддачею (від 50 до 100 лм/Вт). Оптичний діапазон газорозрядних ламп близький до спектру природного освітлення.

Найбільш поширені серед газорозрядних ламп люмінесцентні лампи. Внутрішня поверхня таких ламп вкрита шаром спеціальної речовини (люмінофора), перетворюючого у видиме світло ультрафіолетове випромінення, що створюється внаслідок електричного розряду.

Слід зазначити ряд суттєвих недоліків сучасних газорозрядних ламп. Наприклад для вмикання їх до освітлювальної мережі необхідно використання складних пускових пристроїв, так як необхідна напруга запалення цих ламп вища за напругу мережі. Пульсація світлового потоку газорозрядних ламп створює стробоскопічний ефект. Газорозрядні лампи мають більшу тривалість

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист 75
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

розпалення та можуть створювати радіоперешкоди. Надійність таких ламп в умовах низьких температур значно знижується.

Останнім часом отримали розповсюдження і нові види газорозрядних освітлювальних приладів з ксеноновими, галоїдними та натрієвими лампами, принцип дії яких заснований на використанні випромінення дугового розряду відповідно в ксеноні, пари галоїдних солей та натрію. Світлова віддача таких ламп досягає 110...130 лм/Вт.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ.Р6	Лист
						76
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Розроблена схема регулювання електроприводом відцентрового насоса дозволяє значно заощаджувати електроенергію.

Цю схему регулювання електроприводом можна застосовувати на березі (для водопостачання підприємств, громадських і особливо житлових будинків) і в суднових умовах.

Для впровадження даної схеми регулювання електроприводом відцентрового насоса не потрібно переробки систем водопостачання, а досить до наявних двигунів підключити розроблену схему керування на основі автономного інвертора напруги із широтно-імпульсною модуляцією.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ	Лист
						77
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабаєв В. М. Гідравлічні машини : підручник. – Київ : Вища школа, 2008. – 415 с.
2. Бондаренко Є. М., Сотник В. О. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів : навч. посіб. – Харків : Факт, 2012. – 312 с.
3. Браславський І. Я., Кузнецов В. В., Ніконов О. Я. Електропривод : навч. посіб. – Київ : Кондор, 2009. – 496 с.
4. Бушер В., Хайдер Р. Регульований електропривод змінного струму / пер. з англ. – Київ : Техніка, 2007. – 398 с.
5. Грудз В. Я., Тимків Д. Ф. Насоси, вентилятори та компресори : навч. посіб. – Івано-Франківськ : Факел, 2006. – 312 с.
6. Жуйков В. Я., Денисюк С. П. Силова електроніка : підручник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 432 с.
7. Зінченко О. П. Основи сигової електроніки : навч. посіб. – Київ : Каравела, 2013. – 384 с.
8. Коваленко В. О. Гідравлічні машини та гідроприводи : навч. посіб. – Харків : ХНАДУ, 2012. – 356 с.
9. Козярук А. Є. Енергоефективні частотно-регульовані електроприводи : монографія. – Харків : ХНУРЕ, 2017. – 288 с.
10. Кузьо І. В., Мартинюк В. В. Електропривод виробничих машин : навч. посіб. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 268 с.
11. Лисенко О. М., Рудаков В. В. Асинхронний електропривод з частотним керуванням : навч. посіб. – Дніпро : НГУ, 2013. – 240 с.
12. Мішук В. Ф., Ніколаєнко В. Г. Насоси та насосні станції : навч. посіб. – Київ : Агроосвіта, 2011. – 344 с.
13. Пересада С. М., Ковбаса С. М. Силова електроніка та мікропроцесорна техніка : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 350 с.

					141.4367ст3.КРБ.ПЗ	Лист
						78
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Пересада С. М., Ковбаса С. М., Бовкун В. П. Частотно-керований асинхронний електропривод : монографія. – Київ : Ліра-К, 2016. – 420 с.
15. Попович М. Г., Лозинський О. Ю. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посіб. – Київ : Либідь, 2005. – 680 с.
16. Садовий О. В. Системи керування асинхронними електроприводами : навч. посіб. – Кременчук : КрНУ, 2014. – 310 с.
17. Садовий О. В., Сохіна Ю. В. Теорія електропривода : навч. посіб. – Кременчук : КрНУ, 2011. – 296 с.
18. Ткаченко В. І. Напівпровідникові перетворювачі електроенергії : підручник. – Харків : НТУ «ХП», 2010. – 420 с.
19. Хмара Л. А., Кравець С. Я. Відцентрові насоси: теорія і практика експлуатації : навч. посіб. – Дніпро : НГУ, 2015. – 280 с.
20. Чумаченко В. П. Основи напівпровідникової техніки : навч. посіб. – Одеса : Астропринт, 2008. – 276 с.

					14.1.4.367см3.КРБ.ПЗ.Д							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Студент		Ігошин Р.І.			Додатки				Літ.	Арк.	Аркушів	
Консультант											80	
Керівник		Чекунов В.К.							ННІАЕ НУК			
Зав. каф.		Обрубов А.В.										

ДОДАТОК 1

ПАРАМЕТРИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА 4АМ112М2УЗ.

$$P_{2n} := 7.5 \quad \eta_n := 0.88 \quad \cos\phi := 0.87 \quad U_n := 380 \quad f := 50 \quad p := 1 \quad m_n := 1.5 \quad m_k := 2.3$$

$$S_n := 0.024 \quad S_{кр} := 0.17 \quad \underline{I_n} := 7.5 \quad j := 0.01 \quad n_1 := 3000 \quad n_n := n_1 \cdot (1 - S_n)$$

$$n_n = 2.928 \times 10^3 \quad \omega_n := \pi \cdot \left(\frac{n_n}{30} \right) \quad \omega_n = 306.619 \quad \omega_c := \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}$$

$$\omega_c = 314.159 \quad M_n := \frac{P_{2n} \cdot 10^3}{\omega_n} \quad M_n = 24.46 \quad M_{кр} := m_k \cdot M_n \quad M_{кр} = 56.259$$

$$\underline{I_n} := \frac{P_{2n} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos\phi} \quad I_n = 14.884 \quad \phi := \arccos(0.88) \quad \phi = 0.495 \quad I_n := \underline{I_n} \cdot I_n$$

$$I_n = 111.629 \quad I_0 := I_n \cdot \left(\sin(\phi) - \frac{S_n \cdot \cos\phi}{S_{кр}} \right) \quad I_0 = 5.241 \quad k := 2.392 \quad a := 1.643$$

$$\underline{C} := 2.102 \cdot 10^{-4} \quad M_0 := 0.2 \cdot M_n \quad M_0 = 4.892$$

ПОБУДОВА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

ДВИГУНА

$$\underline{S} := 1, 0.98 \dots 0.0005 \quad \alpha := \frac{m_n}{m_k} \quad \alpha = 0.652 \quad \underline{k} := \frac{\alpha \cdot \left(\frac{1}{S_{кр}} + S_{кр} \right) - 2}{1 - S_{кр}^2} \quad k = 2.005$$

$$M_1(S) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot (1 + a \cdot S_{кр})}{\left(\frac{S}{S_{кр}} \right) + \left(\frac{S_{кр}}{S} \right) + 2 \cdot a \cdot S_{кр}} \quad M(S) := \frac{2 \cdot M_{кр} + (S^2 - S_{кр}^2) \cdot k \cdot M_{кр}}{\left(\frac{S}{S_{кр}} \right) + \left(\frac{S_{кр}}{S} \right)}$$

$$\underline{I_1}(S) := \sqrt{\left[I_n^2 - (I_0)^2 \right] \cdot \frac{S \cdot M(S)}{S_n \cdot M_n} + (I_0)^2} \quad M_{ct}(S) := M_0 + C \cdot [\omega_c \cdot (1 - S)]^2$$

$M1(S) =$	$M(S) =$	$I1(S) =$	$Mct(S) =$
21.774	36.69	110.254	4.892
22.156	36.644	109.079	4.9
22.552	36.61	107.913	4.925
22.962	36.589	106.756	4.967
23.386	36.583	105.608	5.025
23.825	36.591	104.469	5.1
24.281	36.616	103.339	5.191
24.754	36.657	102.218	5.299
25.244	36.716	101.107	5.423
25.753	36.795	100.006	5.564
26.282	36.893	98.913	5.722
26.831	37.012	97.83	5.896
27.403	37.155	96.756	6.087
27.998	37.321	95.691	6.294
28.617	37.513	94.635	6.519
29.262	37.732	93.587	6.759
29.935	37.981	92.547	7.016
30.636	38.26	91.514	7.29
31.368	38.573	90.488	7.581
...	...	...	...

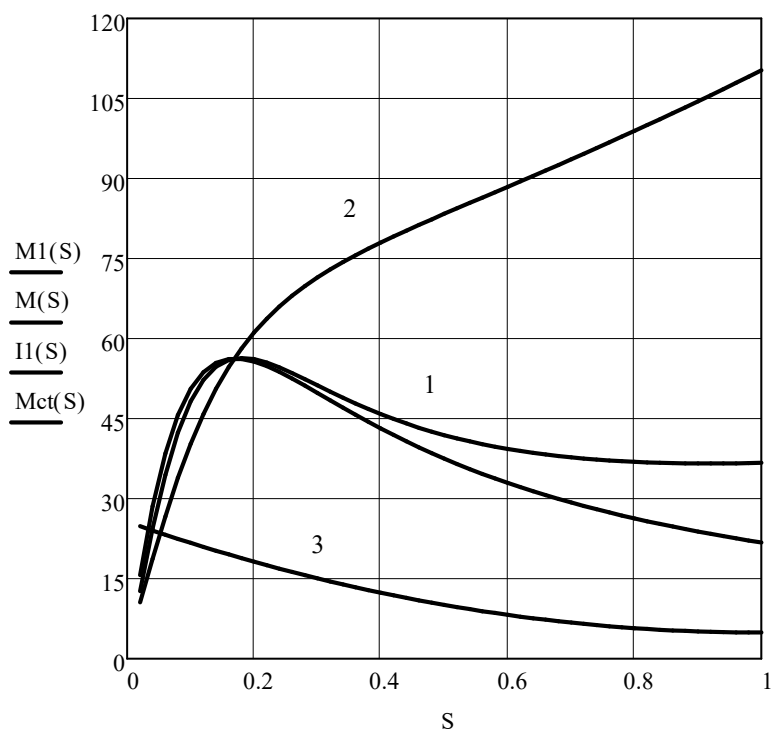


РИС.Д.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА:
 1 - МЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА;
 2 - ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА;
 3 - ХАРАКТЕРИСТИКА МОМЕНТУ ОПОРУ.

ДОДАТОК 2

ПОБУДОВА ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА

ПРИ ЧАСТОТНОМУ РЕГУЛЮВАННІ

$$\alpha := 2 \quad M_{крі}(\phi) := M_{кр} \cdot \phi^2 \quad M_0 := 4.9 \quad c := 2.102 \cdot 10^{-4} \quad \omega_c := 314.2 \quad S_{кр} := 0.17$$

$$M_{ст}(\omega) := M_0 + c \cdot \omega^2 \quad \phi := 1, 0.8, 0.4 \quad \omega := 0, 20, \dots, 320$$

$$\phi := 1 \quad \omega_{c1} := \omega_c \cdot \phi \quad S(\omega) := \frac{\omega_{c1} - \omega}{\omega_{c1}}$$

$$Mf1(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi^2}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

$$M_{крі}(\phi) =$$

56.259
36.006
20.253
9.001

$$\phi := 0.8 \quad \omega_{c2} := \omega_c \cdot \phi \quad S(\omega) := \frac{\omega_{c2} - \omega}{\omega_{c2}}$$

$$Mf2(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi^2}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

$$\phi := 0.6 \quad \omega_{c3} := \omega_c \cdot \phi \quad S(\omega) := \frac{\omega_{c3} - \omega}{\omega_{c3}}$$

$$Mf3(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi^2}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

$$\phi := 0.4 \quad \omega_{c4} := \omega_c \cdot \phi \quad S(\omega) := \frac{\omega_{c4} - \omega}{\omega_{c4}}$$

$$Mf4(\omega) := \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \phi^2}{\frac{S(\omega) \cdot \phi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega) \cdot \phi}}$$

Mf1(ω) =	Mf2(ω) =	Mf3(ω) =	Mf4(ω) =	M _{ст} (ω) =	ω =
18.591	14.641	10.624	6.481	4.9	0
19.776	15.784	11.667	7.248	4.984	20
21.117	17.106	12.899	8.082	5.236	40
22.643	18.647	14.355	8.812	5.657	60
24.393	20.459	16.049	8.892	6.245	80
26.415	22.598	17.918	7.03	7.002	100
28.771	25.127	19.641	1.893	7.927	120
31.536	28.08	20.16	-4.503	9.02	140
34.8	31.376	16.83	-8.187	10.281	160
38.66	34.546	6.301	-9	11.71	180
43.181	35.978	-8.321	-8.532	13.308	200
48.278	31.441	-17.718	-7.719	15.074	220
53.351	14.652	-20.239	-6.904	17.008	240
56.253	-11.351	-19.423	-6.182	19.11	260
...	...	...	...	...	280
					...

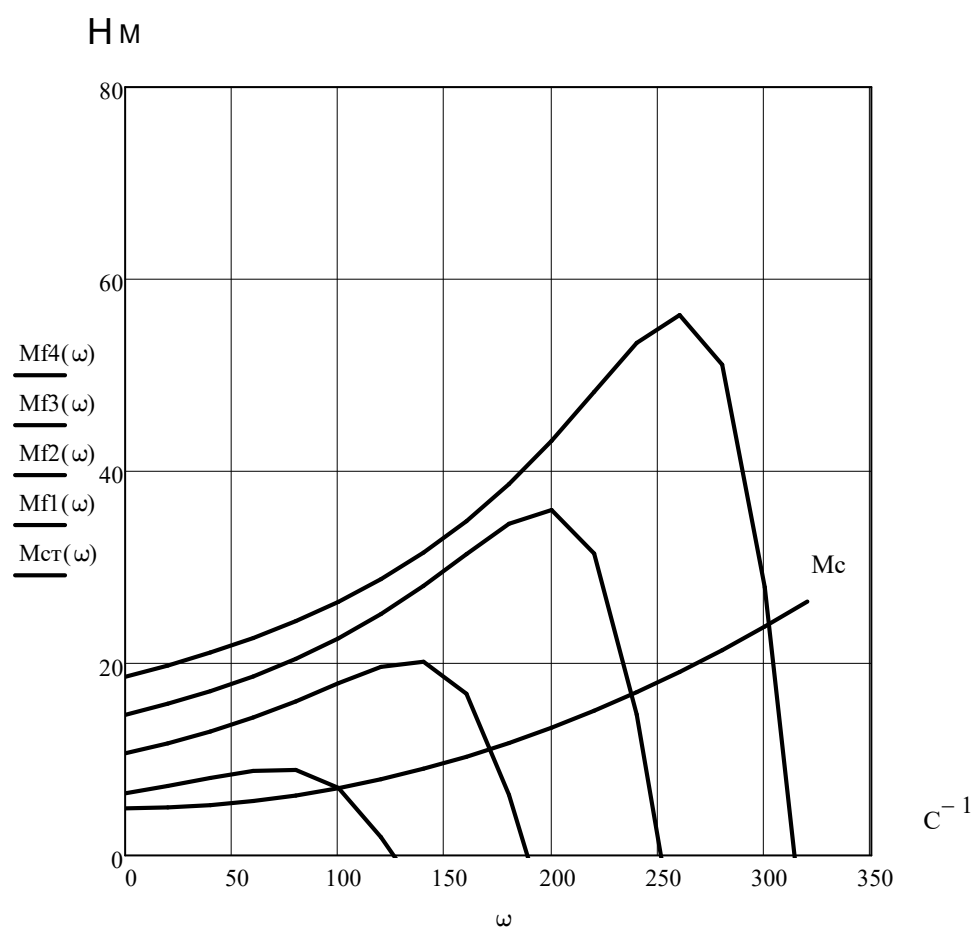


РИС.Д.2.МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГУНА ПРИ ЧАСТОТНОМУ РЕГУЛЮВАННІ

ДОДАТОК 3

РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПУСКУ

АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

$$h := 0.001 \quad N := 1000 \quad i := 0..N-1 \quad j := 0.045 \quad \omega := 0,20..320 \quad M_0 := 4.897$$

$$\omega_{\min} := 0 \quad \omega_{\max} := 320 \quad \omega_i := \omega_{\min} + i \cdot \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{N}$$

$$t_{\min} := 0 \quad t_{\max} := 10 \quad t_i := t_{\min} + i \cdot \frac{t_{\max} - t_{\min}}{N}$$

$$S(\omega) := \frac{\omega_c - \omega}{\omega_c}$$

$$M_{ст}(\omega) := M_0 + C \cdot \omega^2$$

$$M(\omega) := M_{кр} \cdot \frac{2 + (S(\omega)^2 - S_{кр}^2)}{\frac{S(\omega)}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S(\omega)}}$$

$$F1(t, \omega) := \sqrt{\left[I_n^2 - (I_0)^2 \right] \cdot \frac{S(\omega) \cdot M(\omega)}{S_n \cdot M_n} + (I_0)^2}$$

$$F2(t, \omega) := \frac{M(\omega) - M_{ст}(\omega)}{j}$$

$$F3(t, \omega) := M(\omega) - M_{ст}(\omega)$$

$$\begin{pmatrix} t_0 \\ I_0 \\ \omega_0 \\ M_{д0} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ M(0) - M_{ст}(0) \end{pmatrix} \quad \text{- початкові умови}$$

$$\begin{pmatrix} t_{i+1} \\ I_{i+1} \\ \omega_{i+1} \\ M_{дi+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} (t_i + h \cdot 5) \\ F1(t_i, \omega_i) \\ \omega_i + h \cdot F2(t_i, \omega_i) \\ F3(t_i, \omega_i) \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{- початкові рівняння в матричній} \\ \text{формі (метод ЕЙЛЕРА)} \end{array}$$

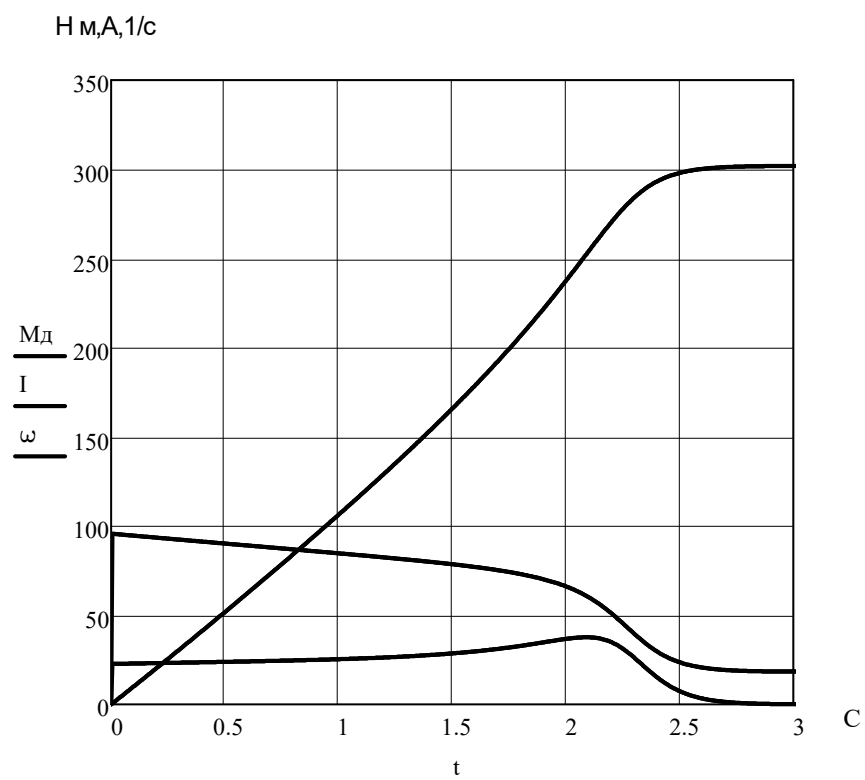


РИС.Д.3.ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ПУСКУ
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

$$M_{\text{Kp}} = 56.259$$

