

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ АЕРОКОСМІЧНИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ
СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
В.П.
Квасніков“ _____”
_____ 2022 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

Тема: «Асинхронний електропривід вентилятора»

Виконавець

студент групи ЕЕ-414
Бедунов Олександр Сергійович

Керівник

кандидат технічних наук, доцент
Борковська Любов Олексіївна

Нормоконтролер

кандидат технічних наук
Катаєва Марія
Олександрівна

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра: комп'ютеризованих електро-технічних систем та технологій
Освітній ступень: «Бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Квасніков

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проекту

Бедунов Олександр Сергійович

(П.І.Б. випускника)

1. Тема проекту «Асинхронний електропривід вентилятора». затверджена наказом ректора від «19» квітня 2022 № 396/ст.
2. Термін виконання проекту: з 16.04.2022 по 15.06.2022 .
3. Вихідні дані до проекту: Регульовані синхронні електроприводи.
4. Зміст пояснювальної записки: Розробити технічне рішення використання електроприводів.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: рисунки, таблиці.
6. Календарний план-графік

| № | Завдання | Термін виконання | Підпис керівника |
|----|---|------------------|------------------|
| 1. | Вивчення інформаційних джерел | 16.04-21.04 | |
| 2. | Розділ 1. Шахтна вентиляція | 22.04-29.04 | |
| 3. | Розділ 2. Електропривід вентиляторів | 30.04-07.05 | |
| 4. | Розділ 3. Вибір і розрахунок елементів електроприводу | 07.05-14.05 | |
| 5. | Розділ 4. Частотне регулювання електроприводу | 15.05-22.05 | |
| 6. | Розробка рисунків та таблиць | 22.05-30.05 | |

7. Дата видачі завдання: “ 14 ” квітня 2022 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Л. О. Борковська
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ О.С. Бедунов
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Асинхронний електропривід вентилятора»: **74 сторінки, 41 рисунок, 14 використаних джерел.**

Метою випускної кваліфікаційної роботи є проектування частотно-регульованого електроприводу шахтного вентилятора місцевого провітрювання для провітрювання тупикових гірничих виробок у вугільних і рудних шахтах з номінальною подачею 10 м^3 і граничним тиском 2500 Па.

Ключові слова: Електропривід, вентилятор, перетворювач частоти, моделювання, електромеханічні та механічні характеристики, перехідний процес, енергозбереження.

У даній роботі були розглянуті загальні питання шахтної вентиляції, наведені основні типи шахтних вентиляторів і вимоги до них. В роботі проведений розрахунок і дослідження електроприводу вентилятора. Змодельовані та досліджені перехідні процеси регульованого електроприводу в середовищі Matlab Simulink. Пояснювальна записка ВКР виконана в текстовому редакторі Microsoft Word, також використовувалися програми MathCad 13, Matlab.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 6 |
| РОЗДІЛ 1.ШАХТНА ВЕНТИЛЯЦІЯ. | 9 |
| 1.1. Загальні відомості про вентиляцію | 9 |
| 1.2. Вентиляція в шахтах | 11 |
| 1.2.1. Вимоги щодо провітрювання підземних виробок..... | 12 |
| 1.3. Типи і вимоги до шахтних вентиляторів | 16 |
| РОЗДІЛ 2.ЕЛЕКТРОПРИВІД ВЕНТИЛЯТОРІВ | 24 |
| 2.1. Способи управління повітряним потоком..... | 24 |
| 2.2. Регулювання частоти обертання асинхронного двигуна..... | 26 |
| 2.2.1. Частотне регулювання..... | 27 |
| 2.3. Функціональна схема ЕП вентилятора | 29 |
| РОЗДІЛ 3.ВИБІР І РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ | 31 |
| 3.1. Вентилятор осьовий шахтний ВМЕ-8 | 31 |
| 3.2. Вибір і визначення параметрів електродвигуна | 34 |
| 3.2.1. Електромеханічні та механічні характеристики асинхронного двигуна ВРМ 200L2У2,5 | 41 |
| 3.2.2. Дослідження моделі асинхронного двигуна з вентиляторним навантаженням в програмі matlab (simulink)..... | 46 |
| 3.2.3. Математичний опис, індукції структурні вибрано схеми якісне та моделювання відключення узагальненої провітрювання асинхронної що машини..... | 47 |
| 3.2.4. Моделювання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі потокозчеплення координат з вентиляторним навантаженням..... | 53 |
| РОЗДІЛ 4.ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ | 57 |
| 4.1. Вибір перетворювача частоти..... | 57 |
| 4.2. Вибір закону частотного регулювання | 61 |
| 4.2.1. Механічні характеристики системи перетворювач-двигун при законі $U_1/f_{12}=\text{const}$ | 61 |
| 4.2.2. Імітаційна модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі координат і вентиляторного навантаження при законі $U_1/f_{12}=\text{const}$ | 65 |
| 4.2.3. Структурна схема асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі координат і вентиляторного навантаження при налаштуванні вольт-частотної характеристики | 68 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 71 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 72 |

ВСТУП

Частка енерговитрат у собівартості продукції та сфері послуг в Україні становить до 20–30 відсотків, що значно вище, ніж у країнах із розвинутою ринковою економікою. Однією з основних причин такого становища є енерговитратні технології, обладнання та прилади, що застосовуються. За оцінками експертів, впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання сприяє зниженню потреб у енергоресурсах не менш як на 30–40 відсотків. Світова та вітчизняна інженерна практика показала, що найбільший економічний ефект при реалізації програм енергозбереження дає переоснащення енергетичних мереж та комунікацій пристроями електроприводу, що регулюється.

За оцінкою фахівців, загалом у країні запровадження регульованого електроприводу в енергетиці, промисловості та житлово-комунальному господарстві та інших галузях може забезпечити щорічну економію 35–40 млрд. кВт*год. електроенергії, що еквівалентно річному виробленню 30 енергоблоків потужністю по 300 МВт кожен.

У промислово розвинених країнах (і в Україні теж) близько 2/3 всього обсягу електроенергії, що споживається, використовується для механічної роботи, що виконується електроприводом. Найбільш широко у галузях промисловості та комунального господарства використовуються електроприводи на базі асинхронних електродвигунів. На їхню частку припадає 55–60 відсотків усієї споживаної енергії.

На сьогоднішній день вугільна промисловість України, у процесі перетворень, що йдуть, має стійку тенденцію до підвищення ефективності виробництва, а рівень видобутку вугілля відповідає потребам країни. Тільки за останні 5 – 6 років відзначається суттєве зростання видобутку вугілля та поступовий розвиток та модернізація технічного оснащення вугледобувних підприємств. Не можна сказати, що технічне переоснащення шахт докорінно змінилося, базові моделі обладнання 60-х років досить чітко проглядаються в

сучасних конструкціях вибухозахищеного обладнання. Здебільшого це пов'язано з вибухозахищеним обладнанням, що відноситься до типу «ExdI» – «вибухонепроникна оболонка». Фактичні величини конструкції вибухонепроникної оболонки залишаються незмінними вже понад півстоліття. Однак, за рахунок покращення технологічних процесів виробництва, застосування нових матеріалів та обладнання вдається отримати більш надійне та якісне обладнання.

У гірничодобувній промисловості першорядною вимогою є безпека. Першопричиною цієї вимоги служить наявність у вугільних пластах супутнього газу-метану. Вибухонебезпечна концентрація метану в повітрі становить 3 відсотки. В умовах шахти, у відсутності природної циркуляції повітря, вибухонебезпечна концентрація метану в повітрі істотно перевищує допустимий рівень вибухобезпеки.

Основним способом досягнення вибухобезпеки в шахтах і гірничих виробках, небезпечних по газу і пилу, служить підтримка атмосфери під землею на рівні менше 1-го відсотку вмісту метану, шляхом штучного нагнітального провітрювання. Історично склалося, за часів Міністерства вугільної промисловості та Держплану, було прийнято позначення вентиляторів місцевого провітрювання – ВМЕ. На початку вироблення вугільного пласта величина довжин і перетину гілок вентиляції Малі. Тому Параметри застосовуваних в цьому випадку вентиляторів місцевого провітрювання невеликі. Немає необхідності у великій подачі і тиску повітря. У міру вироблення вугільного пласта довжини і перетину гілок вентиляції збільшуються. Все це веде до необхідності збільшення обсягу подачі і тиску повітря в вентиляційну систему в цілому, і в кожен окремо взяті її гілки. У зв'язку з цим в основному вентиляційному тунелі виробляють заміну вентиляторів місцевого провітрювання більш потужними. Оцінюючи в цілому етапи проходження вироблення від початку і до завершення видно, що необхідно поетапне застосування все більш потужних, а отже, і більш дорогих вентиляторів. Також, необхідність в монтажі або демонтажі і в

пусконаладжувальних роботах, які є в умовах шахти досить скрутними. Як правило, в шахтах, при необхідності заміни вентилятора на більш потужний, встановлюють вентилятор, що має великі, в порівнянні з необхідними, на той момент, параметри тиску і подачі. А це і більша витрата електроенергії, і погіршення умов роботи людей у забої.

Аналізуючи всі ці факти, що гальмують видобуток вугілля і роблячи її більш витратною за собівартістю, приходимо до висновку про необхідність розробки регульованого енергозберігаючого осьового вентилятора місцевого провітрювання, здатного функціонально забезпечити необхідні тиск і подачу повітря в забій на всьому його просуванні.

РОЗДІЛ 1

ШАХТНА ВЕНТИЛЯЦІЯ

1.1. Загальні відомості про вентиляцію

Слово вентиляція в перекладі з латинської мови означає «провітрювання». Підтримувати в приміщенні певний склад і стан повітря, а також забезпечувати умови необхідні для комфортного проживання людей і успішного протікання технологічних процесів, повинна вентиляція. Вентиляція-природний або штучний регульований повітрообмін в приміщеннях, що забезпечує створення в приміщенні повітряного середовища відповідно до санітарно-гігієнічними вимогами.

Повітрообміном називається часткова або повна заміна повітря, що містить шкідливі речовини, чистим атмосферним повітрям. Для визначення необхідного повітрообміну повинні бути відомі такі вихідні дані: кількість шкідливих речовин(тепла, вологи, газів і парів, пилу тощо) протягом певного періоду часу, наприклад за 1 годину; допустима кількість шкідливих речовин в певному об'ємі повітря, наприклад в 1 м³ повітря приміщення; кількість шкідливих речовин, що містяться в певному обсязі, наприклад в 1 м³, що подається в приміщення повітря. Для житлових і громадських будівель визначити повітрообмін, виходячи зі вмісту в повітрі вуглекислого газу CO₂, не важко, оскільки відомо число людей, які перебувають в приміщенні. Значно складніше визначити повітрообмін по газовій шкідливості для виробничих приміщень, так як кількість виділяються в них газів залежить від технологічного процесу, характеру виробничого обладнання і ступеня його герметизації. Для визначення кількості газової шкідливості користуються теоретичними розрахунками або перевіреними експериментальними даними, в деяких випадках доводиться ставити для цього спеціальні досліди.

На відміну від житлових і громадських будівель у виробничих будівлях джерела, що виділяють і поглинають тепло вельми різноманітні. Це викликає необхідність складати по виробничих приміщеннях теплові баланси, тобто

виявляти всі види надходження і витрати тепла.

Розглянемо основні джерела надходження і витрати тепла:

- тепла, що виділяється людьми;
- тепла, що виділяється лампами і освітлювальними приладами, електропобутовими приладами: холодильниками, плитами і т. д.;
- тепла, що виділяється працюючими приладами та обладнанням: комп'ютерами, друкуючими пристроями, фотокопіювальною технікою та ін.

У виробничих приміщеннях додатковими джерелами тепловиділень можуть бути:

- нагріте виробниче обладнання;
- тепловиділення від працюючого обладнання;
- гарячі матеріали та напівфабрикати;
- продукти згоряння і хімічних реакцій.

При розробці системи вентиляції в першу визначають її тип. Класифікація типів вентиляційних систем проводиться на основі наступних основних ознак :

За способом переміщення повітря: природна або штучна система вентиляції.

За призначенням: припливна або витяжна система вентиляції.

По зоні обслуговування: місцева або загальнообмінна система вентиляції

За конструкцією: набірна або моноблочна система вентиляції.

1.2. Вентиляція в шахтах

Вентиляційні мережі шахт являють собою сукупність великої кількості підземних виробок, що відрізняються різноманітністю параметрів, що впливають на аеродинаміку цих мереж. Ці параметри постійно змінюються, отже, змінюється і аеродинаміка мереж.

Виробки можуть мати різну форму поперечного перерізу, величина цього перерізу коливається в межах від 3,0...4,0 до 30,0 ... 40,0 м². У великих межах коливається і довжина виробок, доходючи іноді до декількох тисяч метрів.

Ступінь шорсткості стінок виробок, що впливає на величину аеродинамічного опору, залежить від типу і розмірів кріплення виробок і теж змінюється в широких межах.

Споживачі повітря в шахті відрізняються великою різноманітністю, як за кількістю необхідного повітря, так і за часом його подачі. В якості споживача може фігурувати окрема виробка, так і вся шахта або значна її частина.

Ці обставини призвели до необхідності створення групи спеціалізованих шахтних вентиляторів, що відповідають за своїми параметрами запитам гірничої галузі.

Вентилятором називається механічна установка, що створює різницю тисків на вході у вентиляційну мережу і виході з неї.

Основна відмінність шахтних вентиляторів від вентиляторів, що застосовуються в інших галузях промисловості – велика продуктивність при досить високих параметрах по тиску. Продуктивність цих вентиляторів може доходити до 500...600 м³/с, величина різниці тиску, створювана шахтними вентиляторами, обмежується значенням 0,5 ... 10,0 кПа. Ступінь стиснення повітря вентилятором-1,1. Це дозволяє вважати повітря нестисливим в розрахунках, пов'язаних з роботою вентилятора.[1]

За своїм призначенням шахтні вентилятори умовно поділяються на три групи:

- головні вентилятори, які обслуговують вентиляційну мережу всієї

шахти або більшої її частини (рисунок 1);

- допоміжні вентилятори, які обслуговують значну частину вентиляційної мережі шахти або працюють спільно з головним;
- вентилятори місцевого провітрювання (ВМП), що забезпечують повітрям окремий забій, вироблення або робоче місце.

В якості головних і допоміжних можуть застосовуватися одні і ті ж вентилятори значних розмірів. ВМП складають окрему групу вентиляторів, що відрізняються невеликими розмірами, малою потужністю приводу і, як правило, невеликою продуктивністю [2].



Рисунок 1 - Вентилятор головного провітрювання ВОР30М2

1.2.1. Вимоги щодо провітрювання підземних виробок

Вміст кисню в повітрі виробок, в яких знаходяться або можуть перебувати люди, має становити не менше 20 відсотків (за обсягом). Вміст вуглекислого газу в рудниковому повітрі не повинен перевищувати на робочих місцях 0,5 відсотків, у виробках із загальним вихідним струменем шахти – 0,75 відсотків, а при проведенні і відновленні виробок по завалу – 1 відсотку. Сумарний вміст горючих газів метану і водню у виробках не повинен перевищувати 0,5 відсотків за обсягом (10 відсотків – нижньої концентрації межі вибуховості) (далі – НКПР) [3].

Повітря в діючих підземних виробках не повинен містити отруйних газів (парів) більше гранично допустимої концентрації, зазначеної в таблиці 1.

Таблиця 1

Гранично допустима концентрація газів (отрут).

| Найменування отруйних газів (парів) | Формула | ГДК газу | |
|---|---------------------------------|-------------|---------------------|
| | | % по об'єму | мг / м ³ |
| Окис вуглецю (оксид вуглецю) | CO | 0,0017 | 20 |
| Оксиди азоту (оксиди азоту) у перерахунку на NO | NO ₂ | 0,00026 | 5 |
| Сірчистий газ (діоксид сірки, сірчистий ангідрид) | SO ₂ | 0,00038 | 10 |
| Сірководень | H ₂ S | 0,00071 | 10 |
| Акролеїн | C ₃ H ₄ O | 0,000009 | 0,2 |
| Формальдегід | CH ₂ O | 0,00004 | 0,5 |
| Ртуть металева | Hg | — | 0,01 |

Примітка. 1 м³ приймається еквівалентним 2 м³ метану.

Організація провітрювання і кількість повітря, необхідного для провітрювання окремих виробок і шахт в цілому, повинні визначатися для кожного родовища за спеціальними методиками, узгоджених з Держнаглядодохоронпраці України або, за його дозволом, з територіальними органами.

Всі шахти повинні мати штучну вентиляцію. Провітрювання підземних гірничих виробок тільки за рахунок природної тяги не допускається.

Всі вироблення повинні провітрюватися активним струменем повітря, за винятком тупиків, довжиною до 10 м, провітрюваних за рахунок дифузії.

Вентиляційні пристрої повинні забезпечувати максимальну герметичність при будь-яких режимах провітрювання. Їх конструкція повинна виключати можливість розгерметизації і короткого замикання вентиляційних струменів. У виробках, що з'єднують повітряподаючі вентиляційні стовбури, повинні встановлюватися кам'яні, бетонні або інші перемички, виконані з негорючих матеріалів. Забороняється застосовувати горючі матеріали при спорудженні кросингів.

Підземні виробки повинні провітрюватися тільки безперервно діючими вентиляторами головного провітрювання і допоміжними вентиляторами головного провітрювання, встановлених на поверхні або за проектом, узгодженим з Держнаглядодохоронпраці України, під землею.

Вентиляторна установка для провітрювання при проходці стовбура повинна бути встановлена на поверхні на відстані не менше 15 м від стовбура. Порядок провітрювання визначається проектом організації робіт.

Спосіб провітрювання шахт може бути нагнітальним, всмоктуючим або нагнітально – всмоктуючим.

Головні вентиляторні установки повинні складатися з двох самостійних вентиляторних агрегатів, причому один з них резервний. Вентилятори для нових і реконструйованих установок повинен бути одного типу і розміру.

Головні і допоміжні вентиляторні установки головного провітрювання повинні оглядатися щодоби працівниками, призначеними головним механіком шахти; щотижня головним механіком і начальником пиловентиляційної служби шахти.

Установка вентиляторів місцевого провітрювання (ВМП) в тупикових виробках при будь-якому вугіллі нахилу вироблення повинна проводитися за проектом, затвердженим головним інженером шахти. При цьому

продуктивність ВМП не повинна перевищувати 70 відсотків кількості повітря, що подається до його всмоктування за рахунок загальношахтної депресії; ВМП повинен встановлюватися на відстані не менше 10 м від виходу вихідного струменя, а відстань від кінця нагнітального трубопроводу до забою або до пульта управління комбайном (при проході виробок комбайнами) не повинно перевищувати 10 м.

При проходці повстаючих виробок забороняється відставання вентиляційного трубопроводу від забою понад 6 м.

При проходці повстаючих з використанням механізованих комплексів і провітрюванні забою повітряно – водяною сумішшю повинно бути забезпечено видалення вихідного струменя з вибою за допомогою всмоктуючого вентилятора місцевого провітрювання.

Результати відбору проб повітря в прохідницьких і очисних вибоях позмінно фіксуються в журналі і завіряються підписом особи технічного нагляду.

За погодженням з територіальними органами Держнаглядохоронпраці України допускається установка ВМП в тупиковій частині вироблення або розосередження вентиляторів по її довжині.

На кожній шахті повинні бути наявні вентиляційні плани, розроблені в установленому порядку.

Щомісяця повинні проводитися:

- заміри кількості повітря, що надходить по горизонтах, крилах, покладах, блокам, ділянкам, панелям і т. д., з зіставленням замірних і розрахункових величин; крім того, виміри повинні проводитися при кожній значній зміні режимів провітрювання;
- відбір проб на визначення якісного складу повітря у всіх робочих зонах, пов'язаних з порушенням суцільності масиву;

1.3. Типи і вимоги до шахтних вентиляторів

Всі випускаються для гірничої галузі вентилятори відносяться по конструкції до так званих «лопатевих нагнітачів». У вентиляторах цього типу енергія обертового ротора перетворюється в потенційну і кінетичну, в свою чергу, повідомляються переміщуваному повітрю.

Лопатеві вентилятори відповідно до характеру руху повітря в них і форми ротора (робочого колеса) поділяються на осьові (рисунок 2) і радіальні, останні більш відомі як відцентрові (рисунок 3).

Переваги осьових вентиляторів:

- відносна простота конструкції;
- простота монтажу, менша площа під установку;
- простота реверсу повітряного струменя (більшість сучасних осьових вентиляторів взагалі не потребують пристрої реверсивних каналів);
- відносно висока продуктивність;
- більш високий коефіцієнт корисної дії;
- зручність застосування вентиляторів цього типу в якості пересувних ВМП.

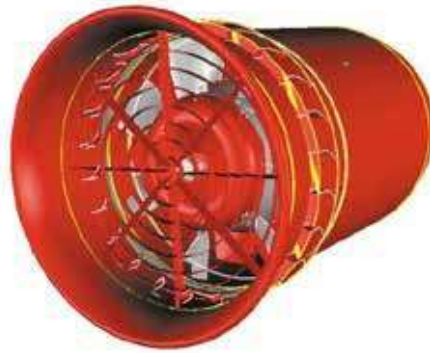


Рисунок 2 - Вентилятор ВМЕ-6 осьового типу

Переваги відцентрових вентиляторів:

- висока механічна надійність і більший термін служби, пов'язані із застосуванням більш низьких швидкостей обертання робочого колеса;
- висока стійкість і надійність робочих режимів, пов'язані з видом характеристик цих вентиляторів;
- менша гучність при роботі;
- відносно висока депресія;
- більша глибина регулювання; менша чутливість до забрудненого повітря.



Рисунок 3 - Вентилятор відцентровий ВЦ-15

Основним способом провітрювання тупикових виробок є нагнітальний. До переваг даного способу провітрювання слід віднести те, що провітрювання призабійного простору здійснюється діяльною струменем свіжого повітря, що виходить з трубопроводу з великою швидкістю. Причому, через ВМП буде надходити свіже повітря, а витоків його через стінки повітропроводу забезпечуватимуть розведення метану, що виділяється з оголених поверхонь у виробленні. Слід зазначити, що при протяжності існуючих виробок до 2000 м існує необхідність контролю витоків повітря, так як візуальний контроль за станом трубопроводу утруднений [2].



Рисунок 4 - Повний типорозмірний ряд ВМП

При провітрюванні тупикових виробок за допомогою ВМП вони повинні працювати безперервно – це поширюється на газові і негазові шахти. Для попередження повторного засмоктування за допомогою ВМП виходить з тупикової вироблення повітря (режим рециркуляції) і запобігання накопичення в ній метану (загазування) вентилятор встановлюють у виробці, провітрюваної загальношахтним вентилятором, не ближче 10 метрів від гирла прохідної тупикової вироблення. При цьому подача ВМП не повинна перевищувати 70 відсотків витрати повітря у виробленні в місці його установки, що забезпечить освіження вихідного потоку повітря з тупикової вироблення по ділянці вироблення між ВМП і гирлом тупикової вироблення при середній швидкості руху повітря не менше 0,15 м/с. Для підвищення надійності провітрювання тупикових виробок поряд з чинним встановлюється резервний ВМП з резервним живленням. Виконання цих вимог забезпечить безпечну роботу в

ВМП.

Вентилятор ВМЕ-12А

Вентилятор осьовий регульований ВМЕ- 12А (рисунок 5) призначений для провітрювання горизонтальних і похилих тупикових гірничих виробок і вертикальних стовбурів діаметром до 6м. Застосовується також при проходці тунелів і штолень. Вибухобезпечне виконання цих вентиляторів (РВ) забезпечує можливість експлуатації їх в шахтах, небезпечних по газу і пилу. Розрахований на роботу з жорсткими (металевими) повітроводами діаметром 1000х1200мм.



Рисунок 5 – Вентилятор ВМЕ -12 А

Відмітна особливість:

- сучасна аеродинамічна схема з меридіональним прискоренням потоку, що забезпечує більш високий ККД і економічність роботи;
- протизривний пристрій, який усуває помпажні режими роботи, розширює область промислового використання вентилятора і забезпечує високу надійність;
- просте і надійне регулювання режимів роботи змінними вінцями робочого колеса;
- полегшене робоче колесо, що збільшує довговічність і надійність роботи двигуна і вентилятора;

- оригінальне кріплення змінних вінців поворотними клиновими затискачами, що виключає різьбові деталі, які схильні до корозії;
- безпека роботи, легкість обслуговування і доступу до всіх частин вентилятора;
- низький рівень шуму завдяки застосуванню оригінального напрямляючого апарату;
- зручність транспортування по виробкам на санчатах..

Параметри вентилятора ВМЕ - 12 А наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри вентилятора ВМЕ-12 А

| | |
|---|------|
| Номінальний діаметр робочого колеса, мм | 1200 |
| Номінальна подача, м ³ /с | 21 |
| Подача в межах робочої області, м ³ / с: | |
| - мінімальна | 10 |
| - максимальна | 30 |
| Номінальний повний тиск, Па | 2600 |
| Повний тиск в межах робочої області, Па: | |
| - мінімальний | 800 |
| - максимальний | 2000 |
| Максимальний повний ККД, не менше | 0,72 |
| Частота обертання, хв -1 | 1480 |
| Потужність електроприводу, кВт | 1100 |
| Габаритні розміри, мм: | |
| - довжина | 2280 |
| - ширина | 1350 |
| - висота | 1750 |
| Маса вентилятора, кг, не більше | 2200 |

Вентилятор ВМЕ2-10

Вентилятор ВМЕ2 - 10 (рисунок 6) призначений для нагнітального

провітрювання підземних тупикових виробок по гнучких або жорстких вентиляційних трубопроводах в шахтах, небезпечних по газу і пилу, а також для провітрювання тунелів. Забезпечує ефективне провітрювання виробок перетином до 20м², протяжністю до 2000м.



Рисунок 6 – Вентилятор ВМЕ2-10

Конструкція осьового робочого колеса з меридіональним прискоренням потоку в поєднанні з противосривним пристроєм забезпечує високі аеродинамічні показники вентилятора: стійку напірну характеристику в широкому діапазоні подачі повітря, високий ККД при хороших шумових характеристиках.[3]

Вентилятор забезпечений двома робочими колесами, закріпленими консольно на роторі електродвигуна, оснащений глушником шуму.

Параметри вентилятора ВМЕ2 - 10 наведені в табл.3.

Таблиця 3

Параметри вентилятора ВМЕ2-10

| | |
|---|------|
| Діаметр робочого колеса, мм | 1000 |
| Номінальна корисна гідро потужність, кВт | 72 |
| Номінальна подача, м ³ с ⁻¹ | 15 |
| Номінальний повний тиск, Па | 480 |
| Максимальний повний ККД | 0,7 |

| | |
|--------------------------------|------|
| Частота обертання, хв -1 | 1500 |
| Потужність електроприводу, кВт | 110 |
| Габаритні розміри, мм: | |
| - ширина | 1200 |
| - висота | 1500 |
| Маса, кг | 2000 |

Вентилятор ВМЕВО-7.1 А

Вентилятор шахтний місцевого провітрювання ВМЕВО - 7.1А(рисунок 7) осьовий з вбудованим вибухозахищеним електродвигуном призначений для провітрювання тупикових гірничих виробок у вугільних і рудних шахтах, включаючи небезпечні по газу і пилу, за допомогою подачі повітря по гнучкому або жорсткому трубопроводу, головним чином, діаметром 1,0 м і довжиною до 2500м, а також може бути використаний для трубопроводів 0,8 м при довжинах до 1500м. застосовується також при проходці тунелів і штолень .



Рисунок 7 – Вентилятор ВМЕВО-7.1 А

Таблиця 4

Параметри вентилятора ВМЕВО-7.1 А

| | |
|---|------|
| Діаметр робочого колеса, мм | 710 |
| Номінальна корисна гідро потужність, кВт | 72 |
| Номінальна подача, м ³ с ⁻¹ | 11 |
| Номінальний повний тиск, Па | 3900 |

| | |
|--------------------------------|------|
| Максимальний повний ККД | 0,79 |
| Частота обертання, хв -1 | 2950 |
| Потужність електроприводу, кВт | 55 |
| Габаритні розміри, мм: | |
| - ширина | 980 |
| - висота | 1120 |
| Маса, кг | 750 |

РОЗДІЛ 2

ЕЛЕКТРОПРИВІД ВЕНТИЛЯТОРІВ

2.1. Способи управління повітряним потоком

Специфіка гірничого підприємства передбачає постійну зміну його параметрів аерологічного характеру. На шахті, що працює в нормальних умовах, постійно змінюється число очисних і прохідних вибоїв, відпрацьовуються розкриті і розкриваються нові пласти і рудні тіла, змінюється глибина розробок, змінюється кількість газових виробок (найчастіше в бік збільшення), змінюється технологія та інші параметри. Все це призводить до необхідності зміни кількості повітря, що надходить в шахту. Останнє, безсумнівно, викликає необхідність зміни продуктивності вентилятора, тобто до регулювання його режиму. Необхідність в регулюванні вентилятора може виникнути при кардинальній зміні вихідних параметрів, пов'язаному з появою на шахті нових горизонтів, нових ділянок або впливі інших важливих факторів – такі зміни відбуваються на підприємстві не часто і, як правило, успішно прогножуються. Сезонні зміни режимів вентилятора найчастіше виникають у зв'язку з необхідністю компенсації змін природної тяги. Поточні регулювання режимів вентилятора передбачають необхідність регулювання у зв'язку з проведенням деяких технологічних процесів (вибухові роботи, перегін машин з ДВС, збої в схемі вентиляції шахти і т.п.). Найкращим варіантом поточного регулювання є повна автоматизація системи вентиляції гірничого підприємства.

В умовах експлуатації часто потрібно, щоб установка забезпечувала такий діапазон режимів роботи, який неможливо отримати за допомогою характеристики, відповідної фіксованим кутах установки лопатей вентилятора і

прийнятої частоті обертання робочого колеса. У цих умовах виконується регулювання вентилятора одним з таких способів:

- зміна частоти обертання лопатевого колеса;
- поворот лопатей робочого колеса;
- поворот лопаток вхідного направляючого апарату;
- дроселювання.

Останній спосіб регулювання, самий неекономічний, так як витрати потужності мало змінюються при зменшенні подачі.

Застосування способу регулювання поворотом лопатей робочого колеса визначається двома факторами: безпекою роботи і економічністю (при паралельному включенні враховується також стійкість роботи).

Вентилятори з поворотними лопатями коліс мають здатність значною (до 50 відсотків) регулювання подачі, зі збереженням при цьому оптимального значення ККД. Однак при цьому способі регулювання потрібно вентилятор особливої конструкції, що дозволяє змінювати в межах кут установки лопатей його робочого колеса. Практично зміна кута повороту відбувається в діапазоні від 15 до 45 градусів.

Регулювання поворотом лопаток направляючого апарату є досить ефективним способом регулювання, так як при цьому досягається значна зміна споживаної вентилятором потужності. Цим користуються при запуску в роботу великих вентиляторів. Однак потрібно відзначити, що застосування цього способу регулювання виправдано тільки при досить великих кутах установки лопатей робочого колеса (більше 30°). При малих кутах установки зміна характеристик тиску нагнітачів незначно і ефект регулювання подачі різко знижується.

Регулювання поворотом лопаток направляючого апарату (СА) не рекомендується, так як воно зводиться до простого дроселювання і не впливає на потужність нагнітача.

Дроселювання-широко поширений, але самий неекономічний спосіб регулювання вентиляторів, що полягає в введенні в мережу додаткового опору

(шибера або ін.). При цьому опір мережі збільшується, тому характеристика її стає більш крутий і робоча точка вентилятора пересувається з положення а по характеристиці вентилятора вліво вгору, визначаючи нові значення параметрів — положення Б і В і т.д. Дроселювання зменшує потужність на валу електродвигуна і разом з тим підвищує частку енергії, що витрачається при регулюванні вентиляторів (даремні втрати тиску на шиборі АРТ). Чим глибше процес регулювання вентиляторів, тим більше непродуктивна витрата потужності.

Не завжди вдається домогтися необхідного діапазону регулювання за рахунок застосування виключно механічних заходів – зміною кута нахилу лопаток або кількістю лопаток. У таких випадках застосування перетворювачів частоти допомагає знижувати витрати не тільки на електроенергію, але і на обслуговування механічного обладнання [4].

2.2. Регулювання частоти обертання асинхронного двигуна

Розглянемо можливі способи регулювання швидкості асинхронних двигунів. Швидкість двигуна визначається двома параметрами: швидкістю обертання електромагнітного поля статора ω_0 і ковзанням s :

$$\begin{aligned} \rho\omega &= \rho\omega_0 - s_{abc} \\ \rho\omega &= \rho\omega_0 - \rho\omega_0 s \end{aligned} \quad (2.1)$$

Виходячи з (1) принципово можливі два способи регулювання швидкості: регулювання швидкості обертання поля статора і регулювання ковзання при постійній величині ω_0 .

Швидкість обертання поля статора визначається двома параметрами: частотою напруги, що підводиться до обмоток статора f_1 , і числом пар полюсів двигуна p_1 . Відповідно до цього можливі два способи регулювання швидкості: зміною частоти напруги живлення за допомогою перетворювачів частоти, що включаються в ланцюг статора двигуна (частотне регулювання), і шляхом зміни числа пар полюсів двигуна.

2.2.1. Частотне регулювання

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти напруги живлення впливає з формули

$\omega = 2\pi f_1 (1 - s)/p$. при регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди напруги джерела, що впливає з виразу $U_1 \approx E_1 = k\Phi f_1$.

Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися обернено пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зросте, і це призведе до різкого збільшення струму і перевищення температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися і як наслідок буде зменшуватися допустимий момент.

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу одночасно у функції частоти і навантаження, що реалізується тільки в замкнених системах електроприводу. У розімкнених системах напруга регулюється лише в функції частоти по деякому закону, що залежить від виду навантаження.

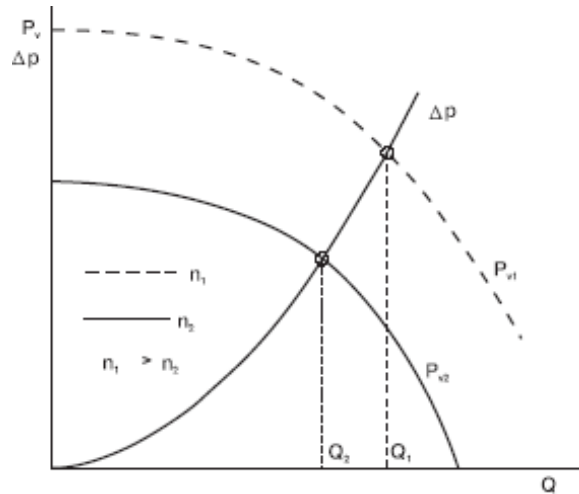
Частотне регулювання кутової швидкості електроприводів змінного струму з двигунами з короткозамкненим ротором знаходить все більше застосування в різних галузях техніки. Наприклад, в установках текстильної промисловості, де за допомогою одного перетворювача частоти, що живить групу асинхронних двигунів, що знаходяться в однакових умовах, плавно і одночасно регулюються їх кутові швидкості.[5]

Прикладом іншої установки з частотно-регульованими асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором можуть служити транспортні рольганги в металургійній промисловості, деякі Конвеєри та ін. При зміні частоти обертання вентилятора, що працює в заданій мережі, робочий режим вентилятора зміщується уздовж характеристики мережі. Відповідно до формулами при зміні частоти обертання в m раз, продуктивність вентилятора зміниться в m раз, створюваний тиск в m^2 рази, споживана потужність - в m^3 разів. ККД вентилятора залишається незмінним (рисунок 12). Даний спосіб

регулювання є найбільш економічно вигідним.

Рисунок 12 - Робочий режим вентиляторної установки

Перетворювачі частоти можна розділити на електромашинні і вентильні.



У свою чергу електромашинні перетворювачі можуть бути виконані з проміжною ланкою постійного струму і безпосереднім зв'язком. В останніх використовують колекторну машину змінного струму, на вхід якої подають змінну напругу з постійною частотою і амплітудою, а на виході її отримують напругу з регульованою частотою і амплітудою. Електромашинні перетворювачі з безпосереднім зв'язком практичного застосування не отримали.

Основними перевагами системи частотного регулювання електроприводу є:

- плавність регулювання і висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні;
- економічність регулювання, яка визначається тим, що двигун працює з малими величинами абсолютного ковзання, і втрати в двигуні не перевищують номінальних.

Недоліками частотного регулювання є складність і висока вартість (особливо для приводів великої потужності) перетворювачів частоти і

складність реалізації в більшості схем режиму рекуперативного гальмування.

2.3. Функціональна схема ЕП вентилятора

Вентилятори є механізмами з режимом тривалого навантаження з великою тривалістю роботи протягом року; навантаження на валу привідного двигуна спокійне, перевантажень не виникає.

Необхідний діапазон регулювання швидкості для вентиляторів зазвичай не перевищує 2:1. Більш глибоке регулювання використовується рідко, якщо враховувати кубічну залежність споживаної потужності від частоти обертання.

Перерахованим вимогам найбільш повно відповідає частотно-регульований асинхронний електропривід вентилятора. При цьому, як правило, можна обмежитися використанням простих і недорогих систем частотного регулювання. Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу приведена на рисунку 13.

З метою забезпечення необхідного моменту під час пуску повинна бути передбачена можливість налаштування вольт – частотної і регулювання часу розгону і гальмування. Визначаючи параметри вольт-частотної характеристики, нижнім частотам ставлять у відповідність значення напруг вище, ніж при обраному законі регулювання. Регулювання часу розгону / гальмування досягається застосуванням задатчика інтенсивності.

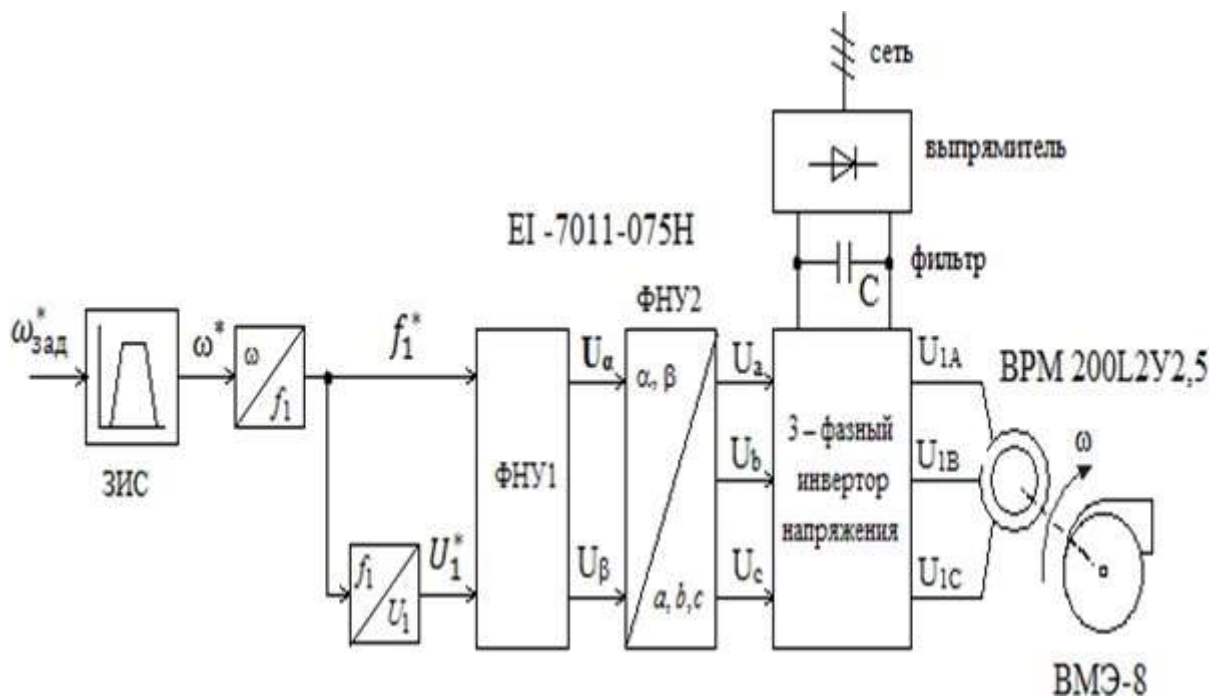


Рисунок 13 - Функціональна схема частотно-регульованого асинхронного електроприводу зі скалярним управлінням

До складу електроприводу входять: перетворювач частоти VLT 2855, асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором 4a112m4 і радіальний вентилятор низького тиску ВР 80-75-6, 3. Параметрами налаштування електроприводу є: тип і параметри датчика інтенсивності швидкості (ЗІС), значення мінімальної частоти перетворювача $f_{i_{XB}}$, закон регулювання U_1 f_1 і корекція вольт-частотної характеристики.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР І РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

3.1. Вентилятор осьовий шахтний ВМЕ-8

Шахтні вентилятори відносяться до розряду спеціальних, область застосування яких не передбачає Вентиляційні системи промислових або громадських будівель.

Ці вентилятори призначені для поширення повітря і різних домішок в ньому, як вибухонебезпечних, так і агресивних. Для місцевих вентиляторів існує ряд особливих вимог: компактність, вибухобезпечність, мінімальна маса, простота в обслуговуванні і транспортабельність. Шахтні осьові вентилятори встановлюють у вентиляційних системах підземних розробок (шахти, рудники).

Вентилятор шахтний місцевого провітрювання ВМЕ-8 осьовий з електричним приводом, одноступінчатий, вибухобезпечний, призначений для провітрювання тупикових гірничих виробок в шахтах, включаючи небезпечні по газу до пилу, при щільності повітря до 1,3 кг/м³, при температурі від -20°C до +35°C, запиленості до 50 мг/м³ і відносній вологості до 95 відсотків (при температурі +25°C). За заявкою споживача вентилятори можуть поставлятися на напругу 380/660 В і 660/1140 В.

Вентилятори встановлюються в горизонтальному положенні з допустимим відхиленням їх осей від горизонталі не більше 30 град.

Переваги:

Продуктивність вентиляторів ВМЕ-8 (660/1140 В) може регулюватися поворотом лопаток робочого колеса;

Конструкція вентиляторів дозволяє з'єднувати послідовно два, а в окремих випадках, коли цього вимагає довжина і опір трубопроводу, три вентилятора.

Лопатки вентилятора виконані з негорючих матеріалів.

Можливість відключення вентилятора при перевищенні нормальної

температури.

Сучасна аеродинамічна схема з меридіональним прискоренням потоку, що забезпечує більш високий ККД і економічність роботи;

Протизривний пристрій, який усуває помпажні режими роботи, розширює область промислового використання вентилятора і забезпечує високу надійність;

Просте і надійне регулювання режимів роботи змінними вінцями робочого колеса;

Полегшене робоче колесо, що збільшує довговічність і надійність роботи двигуна і вентилятора;

Оригінальне кріплення змінних вінців поворотними клиновими затискачами, що виключає різьбові деталі, які схильні до корозії;

Безпека роботи, легкість обслуговування і доступу до всіх частин вентилятора;

Низький рівень шуму завдяки застосуванню оригінального напрямляючого апарату;

На вимогу замовника вентилятор може бути укомплектований глушником шуму.

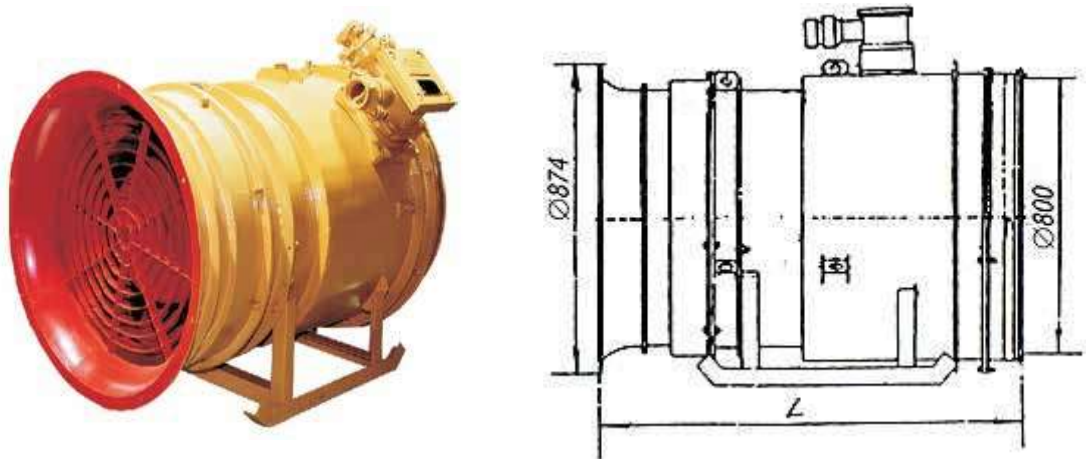


Рисунок 14 - Вентилятор осьовий шахтний ВМЕ-8

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| Номінальний діаметр, мм | 800 |
| Частота обертання, об / хв | 3000 |
| Потужність електродвигуна, кВт | 50 |
| Максимальний повний ККД | 0,63 |
| Номінальний Повний тиск, Па | 3200 |
| Номінальна подача, м ³ / с | 10 |
| Довжина з глушником, мм | 2645 |
| Розміри, мм | 1170 x 910 x 1216 |
| Вага, кг | 800 |

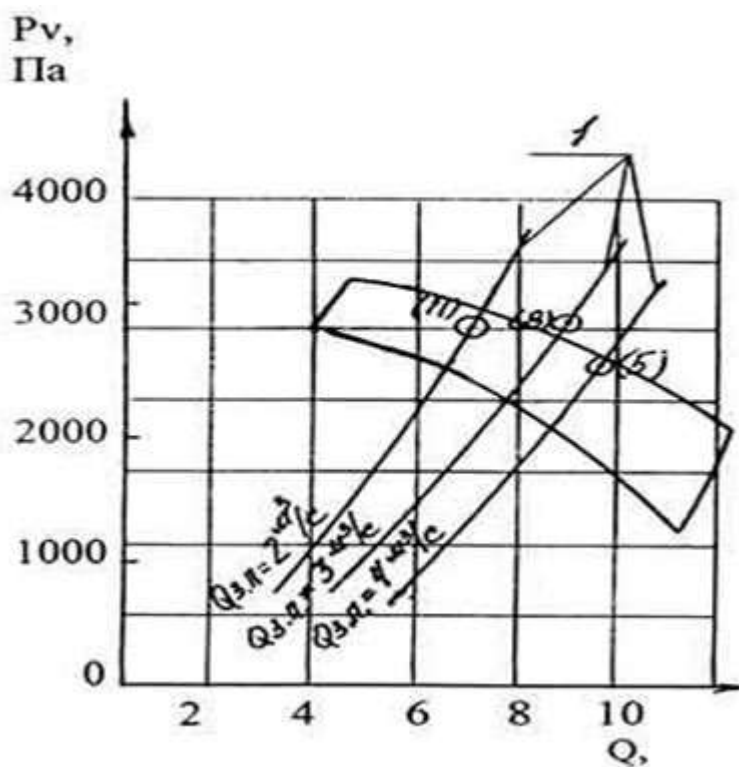


Рисунок 15 – Аеродинамічні характеристики вентилятора ВМЕ-8

P_v — повний тиск, Па

Q — подача (продуктивність) м³/с

Оз.п. — подача в тупиковий забій

1-трубопровід діаметром 800 мм

(5),(8), (11) — відповідно довжина мережі провітрювання 500,

3.2. Вибір і визначення параметрів електродвигуна

Двигун ВРМ 200L2У2, 5

Двигуни призначені для роботи в якості приводу вентилятора місцевого провітрювання у вугільних і сланцевих шахтах, небезпечних по газу або вугільного пилу, а також у всіх галузях гірничорудної промисловості. Буква М типі двигуна позначає спеціальне виконання для вентиляторів місцевого провітрювання.

Двигуни призначені для тривалого режиму роботи S1 від мережі змінного струму частотою 50Гц при номінальній напрузі до 660В і мають виконання у вибухозахисту РВЗВМ для ВРМ200L2У2,5. Технічні дані двигуна наведені в таблиці 6.

Конструктивно двигуни виконані на базі основного виконання електродвигунів ВР з максимальною уніфікацією застосовуваних вузлів, деталей і матеріалів.

Двигуни призначені для вбудовування в корпус вентилятора, до якого кріпиться за допомогою фланця, розташованого з боку вільного кінця валу. Кріплення здійснюється болтами М12. Робоче колесо вентилятора розташовується на валу електродвигуна, охолодження якого здійснюється основним потоком повітря, що йде від робочого колеса вентилятора.

Обмотка ротора-лита зі сплаву алюмінію, коротко замкнута.

Підшипникові щити, кришки і деталі коробки висновків виконані з чавуну підвищеної міцності. Коробка висновків кріпиться до патрубку станини і може повертатися на кут, кратний 900.

Технічні дані двигуна ВРМ 200L2У2, 5

| Найменування параметра | Значення |
|--|----------|
| Корисна потужність, P_{2H} , (кВт) | 50 |
| Ковзання, s (%) | 2,3 |
| Номинальна частота обертання, n_H , (об/сек) | 2930 |
| ККД, (%) | 91 |
| Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$ | 0,88 |
| Кратність пускового моменту, $KП$ | 1,7 |
| Кратність максимального моменту, $KМ$ | 2,2 |
| Кратність пускового струму, $KТ$ | 6 |

Для розрахунку характеристик асинхронного двигуна, як правило, користуються його математичною моделлю, яка в загальному випадку представляється різними схемами заміщення. Найбільш простий і зручний для інженерних розрахунків асинхронного двигуна є Т – подібна схема заміщення.

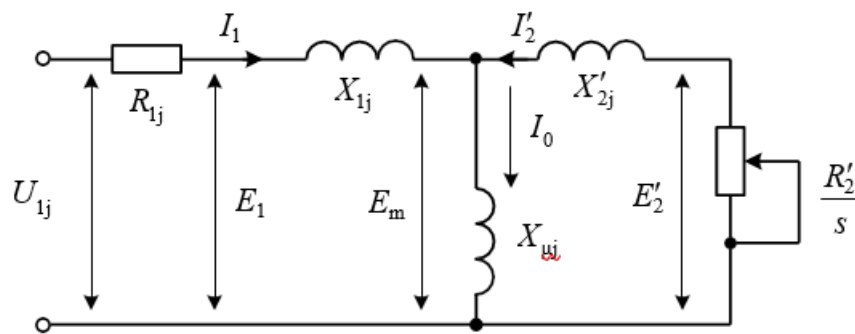


Рисунок 16 - Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Основні рівняння асинхронного двигуна, відповідні схемі заміщення:

$$U_{1\Phi} - E_m - jX_1 I_1 - R_1 I_1 = 0 \quad (3.1)$$

$$\overline{E_m} + j\dot{X}'_2 \overline{I}_2 + \frac{\dot{R}'_2 \overline{I}_2}{s} = 0 \quad (3.2)$$

$$\overline{I}_1 + \overline{I}_2 - \overline{I}_0 = 0 \quad (3.3)$$

Векторна діаграма струмів, ЕРС і напруг, що задовольняє (3.1), (3.2) і (3.3) зображена на рисунку 17.

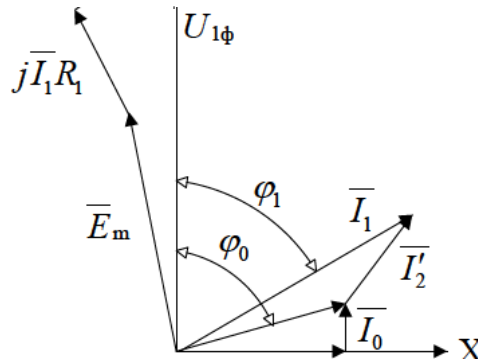


Рисунок 17 - Векторна діаграма асинхронної машини

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1чз}^2 - \left[I_{1H} K_{чз} \frac{1 - S_H}{1 - K_{чз} S_H} \right]^2}{1 - \left[K_{чз} \frac{1 - S_H}{1 - K_{чз}} \right]^2}} \quad (3.4)$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{47,49^2 - \left[94,98 * 0,5 \frac{1 - 0,023}{1 - 0,75 * 0,23} \right]^2}{1 - \left[0,5 \frac{1 - 0,023}{1 - 0,5} \right]^2}} = 11,34 \text{ A}$$

$\cos\varphi_{чз}$, $\eta_{чз}$ - коефіцієнт потужності і ККД двигуна при частковому завантаженні; $K_з = P_з / P_H$ - коефіцієнт часткового завантаження двигуна. Коефіцієнт потужності і ККД при частковому завантаженні в технічній літературі наводяться рідко, а для цілого ряду серій електричних машин такі дані в довідковій літературі відсутні. Ці параметри можна визначити, керуючись наступними міркуваннями: асинхронні двигуни проектується таким чином, що найбільший ККД досягається при завантаженні на 10 – 15

відсотків меншою номінальною. Двигуни розраховуються так тому, що більшість з них в силу стандартної дискретної шкали потужностей працюють з деякою недовантаженням. Тому ККД при номінальному навантаженні і навантаженні $p = 0,5$ практично рівні між собою.[6]

Номінальний струм статора двигуна:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} * U_H * \cos\varphi * \eta_H} \quad (3.5)$$

$$I_{1H} = \frac{50 * 10^3}{\sqrt{3} * 380 * 0,88 * 0,91} = 94,7A;$$

Струм статора при частковому навантаженні:

$$I_{1чз} = \frac{K_{чз} * P_H}{\sqrt{3} * U_H * \cos\varphi_{чз} * \eta_{чз}} \quad (3.6)$$

$$I_{1чз} = \frac{0,5 * 50 * 10^3}{\sqrt{3} * 380 * 0,88 * 0,91} = 47,78 A;$$

$$\text{Критичне ковзання: } S_{KP1} = S_H \frac{[K_M + \sqrt{K_M^2 - [1 - 2S_H\beta(K_M - 1)]}]}{1 - 2S_H\beta(K_M - 1)} \quad (3.7)$$

$$S_{KP1} = 0,023 \frac{[2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 * 0,023 * 1 * (2,2 - 1)]}]}{1 - 2 * 0,23 * 1(2,2 - 1)} = 0,1$$

де β -допоміжний коефіцієнт (на початковому етапі приймаємо $\beta = 1$, надалі β може приймати діапазон значень від 0,6 до 2,5).

Далі за наведеними виразами необхідно визначити ряд проміжних коефіцієнтів.

$$\text{Визначимо коефіцієнт пропорційності з } C_1: C_1 = \frac{I_0}{2K_T I_{1H}} + 1 \quad (3.8)$$

$$C_1 = \frac{31,74}{2 * 6 * 94,98} + 1$$

$$\text{Знайдемо значення } A_1: A_1 = 3U_{\text{ФН}}^2 \frac{1-s_H}{2C_1 K_M P_H} \quad (3.9)$$

$$A_1 = 3 * 220^2 \frac{1 - 0,023}{2 * 1,028 * 2,2 * 50 * 10^3} = 0,63$$

Значення активного опору ланцюга ротора, приведенного до обмоток статора $R_2: R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) * C_1}$ (3.10)

$$R'_2 = \frac{0,63}{\left(1 + \frac{1}{0,1}\right) * 1,01} = 0,058 \text{ Ом}$$

$$\text{Активний опір статора обмотки: } R_1 = C_1 R'_2 \beta \quad (3.11)$$

$$R_1 = 1,028 * 0,058 * 1 = 0,059 \text{ Ом}$$

Параметр γ , який дозволяє знайти індуктивний опір короткого замикання $X_{\text{КН}}$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{s_K^2}\right) - \beta^2} \quad (3.12)$$

$$\gamma = \sqrt{\left(\frac{1}{0,1^2}\right) - 1^2} = 9,79$$

Якщо значення γ негативне, то необхідно змінити початкове прийняте значення β .

Індуктивний опір короткого замикання:

$$X_{KH} = \gamma C_1 R'_2 \quad (3.13)$$

$$X_{KH} = 9,79 * 1,01 * 0,058 = 0,57 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіювання роторної обмотки, приведене до статорної, визначається:

$$X'_2 = 0,58 \frac{X_{KH}}{C_1} \quad (3.14)$$

$$X'_2 = 0,58 \frac{0,57}{1,01} = 0,33 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір статорної обмотки:

$$X_1 = 0,42 * X_{KH} \quad (3.15)$$

$$X_1 = 0,42 * 0,57 = 0,25 \text{ Ом.}$$

За знайденими значеннями $C_1 R'_2$ та X_{KH} визначається критичне ковзання:

$$S_{кр2} = \frac{C_1 R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} \quad (3.16)$$

$$S_{кр2} = \frac{1,01 * 0,059}{\sqrt{0,058^2 + 0,57^2}} = 0,1$$

Розраховані значення $S_{кр1}$ і $S_{кр2}$ рівні.

ЕРС гілки намагнічування E_1 , наведену потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі:

$$E_1 = \sqrt{(U_{\Phi H} \cos \varphi_H - R_1 I_{1H})^2 + (U_{\Phi H} \sin \varphi_H + X_1 I_{1H})^2} \quad (3.17)$$

$$E_1 = \sqrt{(220 * 0,88 - 0,59 * 94,98)^2 + (220 * 0,47 + 0,25 * 94,98)^2} = 204,97 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір намагнічування:

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} \quad (3.18)$$

$$X_{\mu} = \frac{204,97}{31,74} = 18,08 \text{ Ом.}$$

Таблиця 7

Розраховані параметри схеми заміщення асинхронного двигуна.

| R ₁ Ом | X ₁ Ом | L ₁ мГн | X _μ Ом | L _m Гн | R ₂ Ом | X ₂ Ом | L ₂ мГн | X _{кн} Ом |
|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0,059 | 0,25 | 0,79 | 18,08 | 0,018 | 0,058 | 0,33 | 1,05 | 0,57 |

3.2.1. Електромеханічні та механічні характеристики асинхронного двигуна ВРМ 200L2У2,5

Синхронна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2\pi * 50}{1} = 314.16 \text{ рад/с} \quad (3.19)$$

Характерні точки електромеханічної характеристики.

Номінальний режим:

$$\omega_H = \omega_0(1 - s_H) = 314.16 * (1 - 0.023) = 306.93 \text{ рад/с.} \quad (3.20)$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{50000}{306.93} = 162.9 \text{ Н * м.} \quad (3.21)$$

Режим короткого замикання (режим пуску):

$$I_{\Pi} = k_T * I_H = 7 * 94.6 = 662.2 \text{ А.} \quad (3.22)$$

Визначимо залежність струму ротора I_2' приведенного до обмотки статора, від швидкості ω :

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}\right)^2 + (X_{1H} + X_{2H}')^2}} \quad (3.23)$$

Графік електромеханічної характеристики, розрахований за формулою (3.23) в математичній системі MathCAD, наведено на рисунку 18.

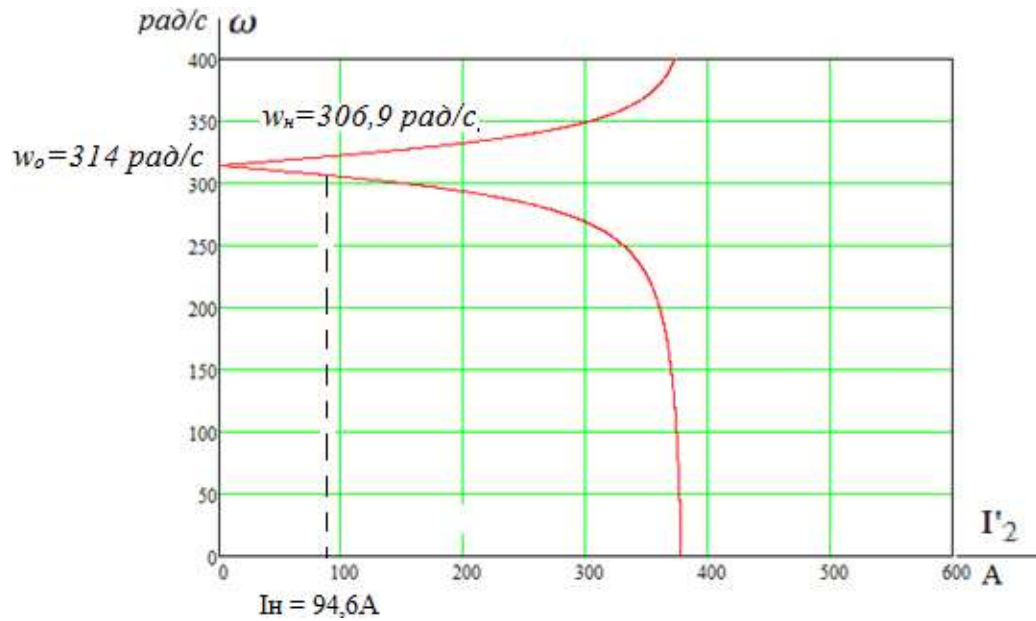


Рисунок 18 - Графік електромеханічної характеристики $i' = f(\omega)$

Електромеханічну характеристику $I_1 = f(\omega)$ розрахуємо по вираженню (3.24) з урахуванням струму I'_2 , знайденого за рівнянням (3.23), тоді

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2I_0I_2'(\omega)0.673}; \quad (3.24)$$

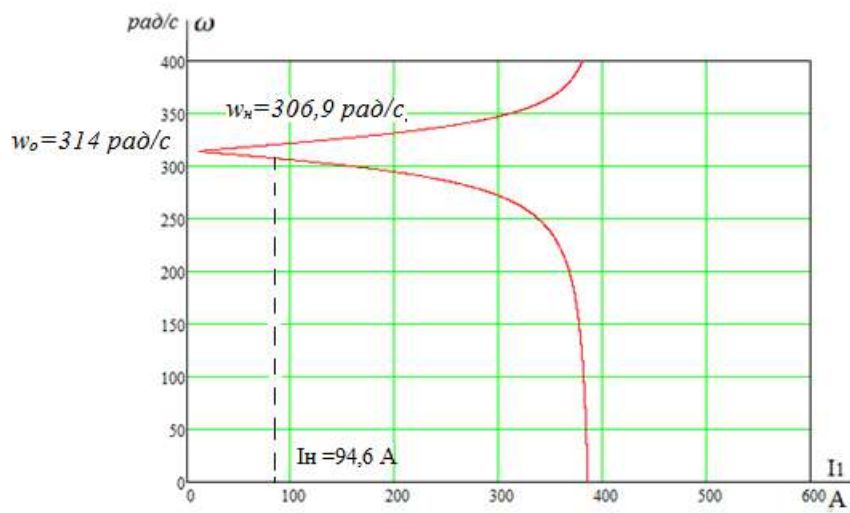


Рисунок 19 - Графік природної електромеханічної характеристики $I_1=f(\omega)$ асинхронного двигуна

Природна механічна характеристика асинхронного двигуна $M(\omega)$ розраховується за виразом:

$$M(\omega) = \frac{3U_{1H}^2 R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega} \right)^2 \right] + X_{KH}^2} \quad (3.25)$$

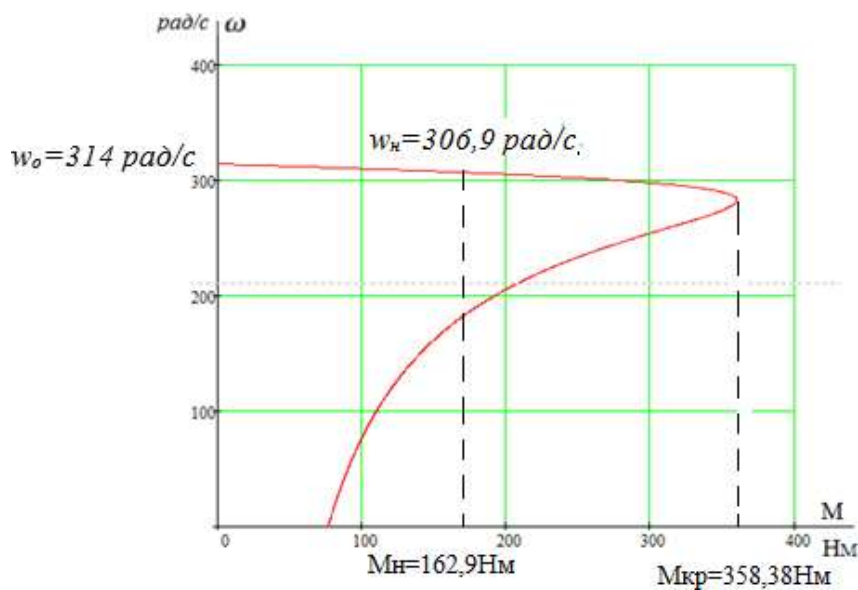


Рисунок 20 - Природна механічна характеристика двигуна

Оскільки механічні характеристики двигуна розраховані для електромагнітного моменту, то при повному навантаженню на валу електродвигуна треба враховувати власний момент тертя двигуна. Момент від сил тертя на валу електродвигуна можна прийняти постійним і рівним

$$M_{\text{сдв}} = M_{\text{емн}} - M_{\text{двн}} = 166.387 - 162.9 = 3.487 \text{ Н * м}, \quad (3.26)$$

$$M_{\text{ем.н}} = \frac{3 * U_{1\text{фн}}^2 * R'_2}{\omega_0 * S_{\text{н}} * \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{S_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 * R'_2}{S_{\text{н}} * X_{\mu}} \right)^2 \right]}$$

$$M_{\text{ем.н}} = \frac{3 * 220^2 * 0.058}{157 * 0.023 * \left[0.57^2 + \left(0.059 + \frac{0.058}{0.023} \right)^2 + \left(\frac{0.059 * 0.058}{0.023 * 18.07} \right)^2 \right]}$$

$$= 166.378 \text{ Н * м}$$

- номінальний електромагнітний момент двигуна.

Момент постійних втрат на валу вентилятора:

$$\Delta M_{\text{пост}} = K * M_{\text{полн}} = 0.049 * 162.9 = 8.06 \text{ Н * м}$$

$$\Delta M_{\text{с}} = M_{\text{сдв}} + \Delta M_{\text{пост}} = 3.487 + 8.06 = 11.54 \text{ Н * м}$$

Коефіцієнт втрат при роботі вентилятора з $\eta_{\text{н}} = 0.9191$

$$K = \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{2 * \eta_{\text{н}}} = \frac{1 - 0.91}{2 * 0.91} \quad (3.27)$$

Вираз для механічної характеристики повного моменту опору на валу електродвигуна в загальному випадку має вигляд:

$$M_{\text{сi}}(\omega) = \Delta M_{\text{с}} + (1 + b_i) * M_{\text{пол i}} * \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^{X_i} \quad (3.28)$$

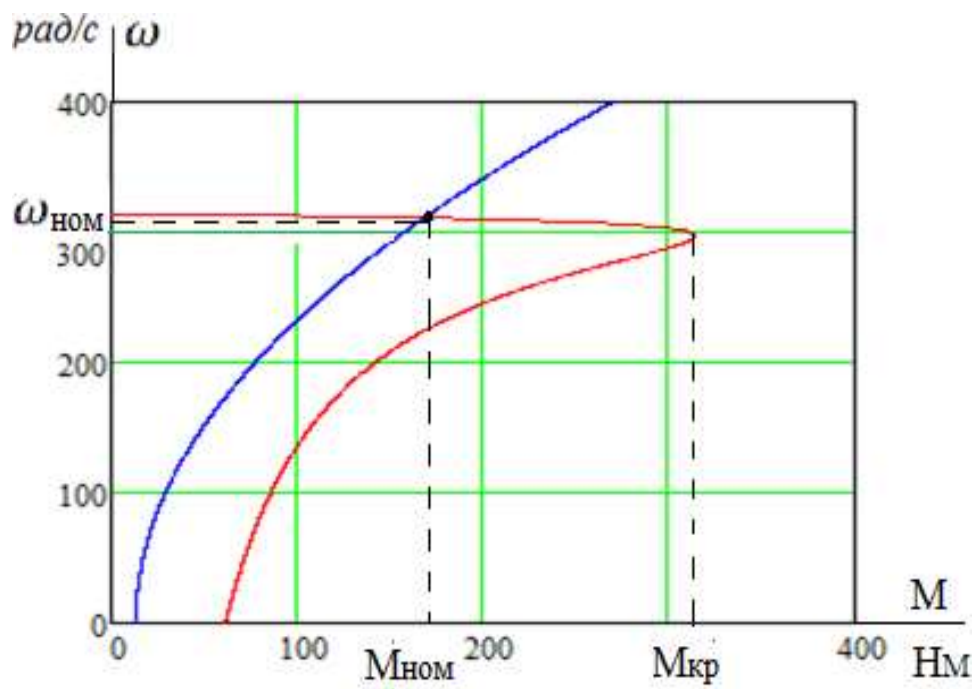
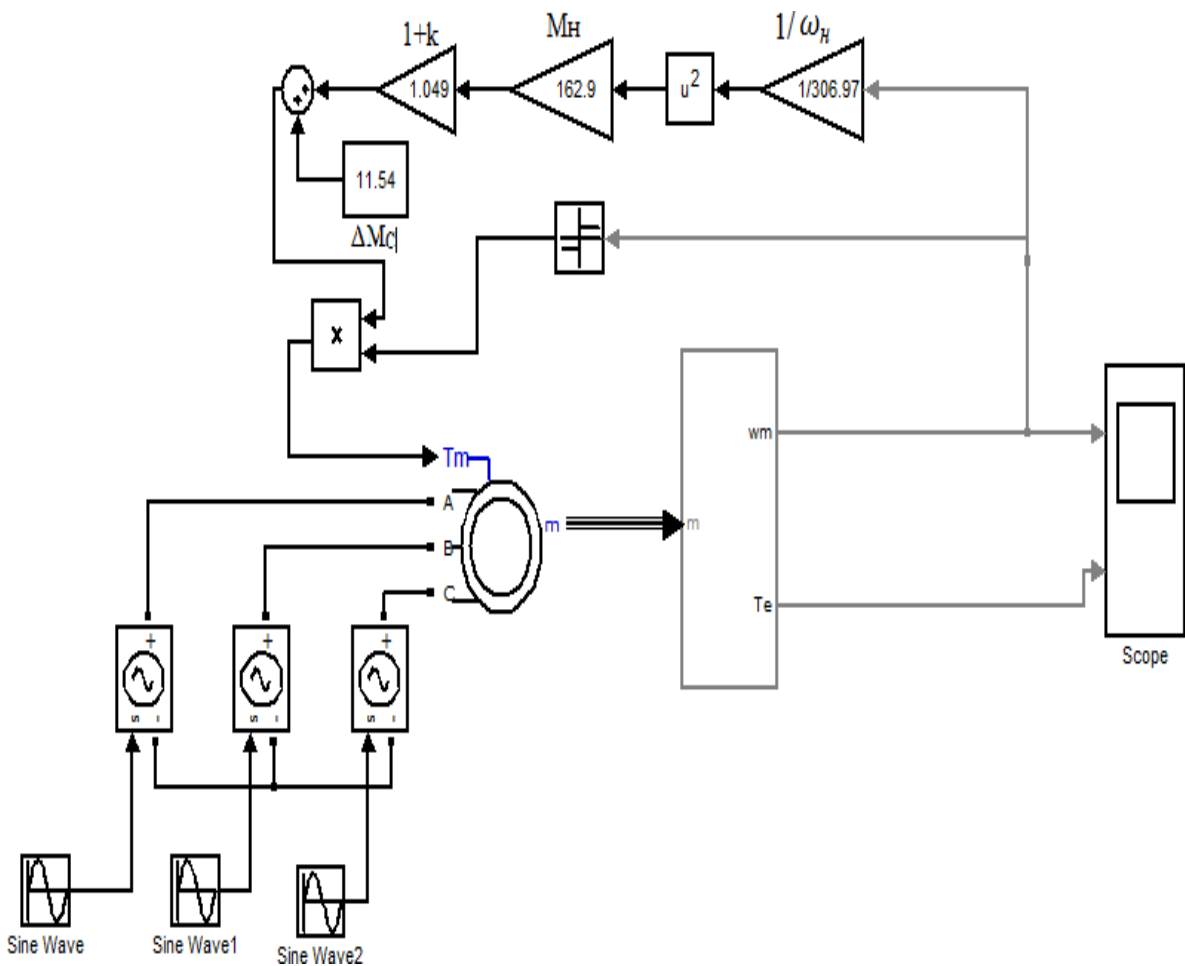


Рисунок 21 - Природна механічна характеристика двигуна
характеристика повного моменту опору на валу

3.2.2. Дослідження моделі асинхронного двигуна з вентиляторним навантаженням в програмі matlab (simulink)

Для перевірки правильності розрахунку параметрів обраного асинхронного двигуна досліджуємо її в програмі MATLAB (simulink). Модель асинхронного двигуна отримана з розділу бібліотеки Simpowersystem. На рисунку 22 представлена схема моделювання процесу пуску асинхронного короткозамкнутого двигуна з вентиляторним навантаженням відповідно до виразу 36. Розраховані параметри асинхронного двигуна були наведені в



таблиці 7.

Рисунок 22 - Модель електроприводу змінного струму з вентиляторним навантаженням

Результати моделювання процесів пуску двигуна представлені на рисунку 23. На часовому відрізку від 0 до 2,4 с на двигун подається напруга і двигун розганяється швидкістю 306,93 $\omega/\text{рад}\cdot\text{с}$ під навантаженням 162,9 Н·М.

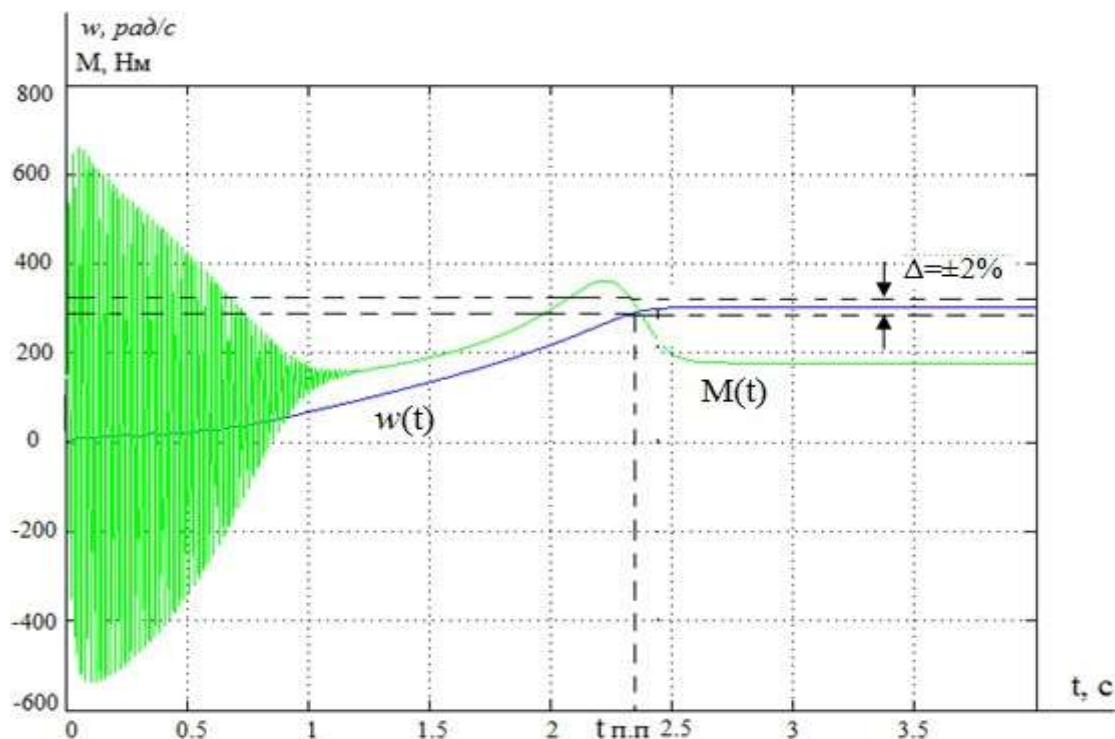


Рисунок 23 - Перехідні процеси пуску асинхронного двигуна під навантаженням.

3.2.3. Математичний опис, індукції структурні вибрано схеми якісне та моделювання відключення узагальненої провітрювання асинхронної що машини.

Узагальнена асинхронна машина показана на рисунку 24. Вона містить трифазну обмотку на статорі і трифазну обмотку на роторі. Обмотки статора і ротора підключені до симетричним трифазним джерелом напруги. Математичний опис такої машини базується на відомих законах.

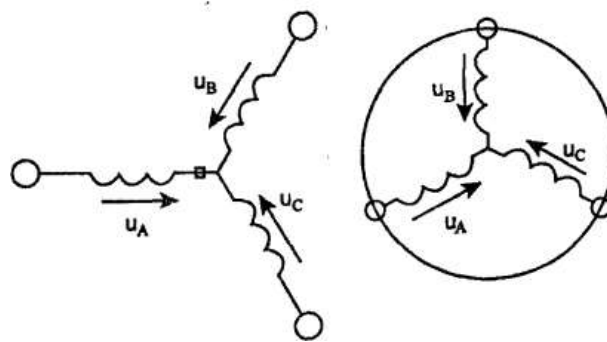


Рисунок 24 - Узагальнена асинхронна машина

Рівняння рівноваги ЕРС на обмотках статора і ротора відповідно до 2 закону Кірхгофа запишуться у вигляді:

$$\begin{aligned}
 U_A &= R_a I_a + \frac{d\psi_a}{dt} & U_a &= R_a I_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\
 U_b &= R_b i_b + \frac{d\psi_b}{dt} & U_B &= R_B I_B + \frac{d\psi_B}{dt} \\
 U_c &= R_c i_c + \frac{d\psi_c}{dt} & U_C &= R_C I_C + \frac{d\psi_C}{dt}
 \end{aligned} \quad (3.29)$$

У рівняннях (3.29) фігурує Миттєве напруги, струми і потокозчеплення статора і ротора, а також активні опору обмоток. Зазвичай обмотки виконуються симетричними і тому $R_A=R_B=R_C=R_S$ – активний опір статорної обмотки, $R_a=R_b=R_c=R_R$ – активний опір роторної обмотки.

У рівняннях (3.29) потокозчеплення обмоток статора і ротора знаходяться на основі закону Ампера:

Для статора:

$$\begin{aligned}
 \Psi_A &= L_{AA}i_A + L_{AB}i_B + L_{AC}i_C + L_{Aa}i_a + L_{Ab}i_b + L_{Ac}i_c \\
 \Psi_B &= L_{BA}i_A + L_{BB}i_B + L_{BC}i_C + L_{Ba}i_a + L_{Bb}i_b + L_{Bb}i_c \\
 \Psi_C &= L_{CA}i_A + L_{CB}i_B + L_{CC}i_C + L_{Ca}i_a + L_{Cb}i_b + L_{Cc}i_c
 \end{aligned} \quad (3.30)$$

Для ротора:

$$\Psi_a = L_{aA}i_A + L_{aB}i_B + L_{aC}i_C + L_{aa}i_a + L_{ab}i_b + L_{ac}i_c$$

$$\Psi_b = L_{bA}i_A + L_{bB}i_B + L_{bC}i_C + L_{ba}i_a + L_{bb}i_b + L_{bc}i_c$$

$$\Psi_c = L_{cA}i_A + L_{cB}i_B + L_{cC}i_C + L_{ca}i_a + L_{cb}i_b + L_{cc}i_c$$

Рівняння для визначення потокозчеплення показують, що потозчеплення кожної обмотки залежить від струмів у всіх обмотках. Ці залежності проявляються через взаємоіндукцію. У рівняннях L_{AA} , L_{BB} , L_{CC} , L_{aa} , L_{bb} , L_{cc} є власною індуктивністю відповідних обмоток, всі інші – є взаємоіндуктивністю між відповідними обмотками.

Рівняння рівноваги моментів на валу машини визначається на основі другого Закону Ньютона:

$$J \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_H \quad (3.31)$$

Де J – кг) - момент інерції на валу машини, що враховує інерційність як самої машин, так і приведеної до валу інерційності робочого механізму і редуктора, ω_{mm} (рад / с) - кутова швидкість валу машини, M_H (Нм) - момент робочого механізму, приведеної до валу, який в загальному випадку може бути функцією швидкості і кута повороту.

Електромагнітний момент машини в рівнянні (3.31) знаходиться на підставі Закону, сформульованого Ленцем, як правила лівої руки. Цей закон пов'язує векторні величини моменту, потокозчеплення і струму:

$$\vec{M} = k(\vec{\psi} * \vec{i})$$

$$\vec{u}_s = R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt}$$

$$\vec{u}_R = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt}$$

$$\vec{M} = k(\vec{\psi} * \vec{i}) \quad (3.32)$$

$$\vec{u}_S = R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt}$$

$$\vec{u}_R = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} \quad (3.33)$$

$$\vec{\psi}_S = L_S \vec{i}_S + L_m(\theta) \vec{i}_R$$

$$\vec{\psi}_R = L_m(\theta) \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R$$

L_S , L_R -власні індуктивності статора і ротора, $L_m(\theta)$ - взаємна індуктивність між статором і ротором. Замість 12 рівняння (37) – (38) отримано лише чотири рівняння (3.33).

Змінні коефіцієнти взаємної індукції в рівняннях для потокозчеплення (3.33) є результатом того, що рівняння рівноваги ЕРС для статора записані в нерухомій системі координат, пов'язаної з ротором. Метод просторового вектора дозволяє записати ці рівняння в єдиній системі координат, що обертається з довільною швидкістю ω_k . У цьому випадку рівняння (3.33) перетворюється на вигляд:

$$\vec{u}_S = R_S \vec{i}_S + \frac{d\vec{\psi}_S}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_S$$

$$\vec{u}_R = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_R$$

$$\vec{\psi}_S = L_S \vec{i}_S + L_m \vec{i}_R$$

$$\vec{\psi}_R = L_m \vec{i}_S + L_R \vec{i}_R$$

(3.34)

У рівняннях (3.34) всі коефіцієнти є величинами постійними, мають чіткий сенс і можуть бути визначені за паспортними даними, або експериментально.

Момент у рівнянні (3.34) є векторним добутком будь-якої пари векторів. З рівняння (3.33) випливає, що таких пар може бути шість:

$$(\vec{i}_S, \vec{i}_R); (\vec{\psi}_S, \vec{\psi}_R); (\vec{i}_S, \vec{\psi}_S); (\vec{i}_S, \vec{\psi}_R); (\vec{i}_R, \vec{\psi}_R); (\vec{i}_R, \vec{\psi}_S);$$

Часто в розгляд вводиться потокозчеплення взаємної індукції. У цьому випадку з'являється ще чотири можливості подання електромагнітного моменту машини через наступні пари:

$$(\vec{i}_S, \vec{\psi}_m); (\vec{i}_R, \vec{\psi}_m); (\vec{\psi}_S, \vec{\psi}_m); (\vec{\psi}_R, \vec{\psi}_m).$$

Після вибору тієї чи іншої пари рівняння моменту набуває визначеність. Крім того, в рівняннях (3.30) і (3.31) векторні величини моменту і швидкості можуть бути замінені їх модульними значеннями. Це є наслідком того що просторові вектори струмів і потокозчеплені розташовані в площині перпендикулярній осі обертання, а вектор моменту і кутової швидкості збігаються з віссю.

У системах мехатроніки для визначення електромагнітного моменту асинхронної машини, як правило, в якості змінних стану вибираються струм статора і потокозчеплення ротора. У полях систем мехатроніки при визначенні частотно електромагнітного опору моменту є асинхронної для машини, перехідний як характеристиках правило, сил в якості місцевого змінних координат стану входять вибираються регулювання струм повітряним статора може і потокозчеплення мистецтв ротора.

$$M = \frac{3}{2} p k_R * Mod(\vec{\psi}_R * \vec{i}_S). \quad (3.35)$$

Узагальнена система рівнянь для опису асинхронної машини приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \vec{u}_S &= R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s \\ \vec{u}_R &= R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_R \\ \vec{\psi}_S &= L_s \vec{i}_s + L_m \vec{i}_R \\ \vec{\psi}_R &= L_m \vec{i}_s + L_R \vec{i}_R \end{aligned} \quad (3.36)$$

$$M = \frac{3}{2}pk_R * Mod(\vec{\psi}_R * \vec{i}_s)$$

$$J \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_H$$

Де $\omega = p\omega_m$, p -число пар полюсів.

Схема асинхронної машини з короткозамкненим ротором виходить з узагальненої схеми (рисунок 24), якщо обмотки ротора замкнуті накоротко.

При цьому в загальних рівняннях (3.36) слід покласти U_R

$$\vec{u}_s = R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s$$

$$0 = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_R$$

$$\vec{\psi}_R = L_m \vec{i}_s + L_R \vec{i}_R \quad (3.37)$$

$$M = \frac{3}{2}pk_R * Mod(\vec{\psi}_R * \vec{i}_s)$$

$$J \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = \vec{M} - \vec{M}_H$$

Перетворимо рівняння (3.37), виключивши з них (i_R і ψ). Тоді рівняння (3.37) після відповідних перетворень приймуть вигляд:

$$\vec{u}_s = r \vec{i}_s + L'_s \frac{d\vec{i}_s}{dt} + j\omega_k L'_s \vec{i}_s - \frac{k_R}{T_R} \vec{\psi}_R + jk_R p \omega_m \vec{\psi}_R$$

$$0 = -k_R R_R \vec{i}_s + \frac{1}{T_R} \vec{\psi}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_R$$

$$M = \frac{3}{2}pk_R * Mod(\vec{\psi}_R * \vec{i}_s)$$

$$J \frac{d\vec{\omega}_m}{dt} = M - M_H \quad (3.37)$$

Де:

$$r = (R_s + K_R^2 * R_R)$$

$$\begin{aligned}
L'_S &= (L_S - \frac{L_m^2}{L_R}) \\
K_R &= \frac{L_m}{L_R} \\
T_R &= \frac{L_R}{L_R} \\
T'_S &= \frac{L'_S}{r}
\end{aligned}
\tag{3.38}$$

3.2.4. Моделювання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі поточозчеплення координат з вентиляторним навантаженням.

У нерухомій системі координат трифазний асинхронний двигун найчастіше зводять до двофазної машини, у якій дві обмотки а і в зрушені просторі на 90 градусів і суміщені з координатними осями а і в. Встановлено, що при живленні обмоток статора двофазного асинхронного двигуна синусоїдальними напругами, зрушеними на 90ел.град., вдається забезпечити в зазорі електричної машини кругове обертове електромагнітне поле.

Перехідні процеси короткозамкнутого двофазного асинхронного двигуна, який отримує живлення від мережі або індивідуального перетворювача, що володіє властивостями джерела напруги, можна отримати зі спільного рішення системи диференціальних рівнянь.

Просторові вектора в цьому випадку розкладаються по осях

$$\vec{u}_s = u_{sa} + ju_{s\beta}, \vec{i}_s = i_{sa} + ji_{s\beta}, \vec{\psi}_R = \psi_{Ra} + \psi_{R\beta}$$

Підставивши ці значення в рівняння (3.38) і прирівнявши окремо речові і уявні частини, отримаємо:

$$\begin{aligned}
 \vec{u}_{Sa} &= r i_{Sa} + L'_s \frac{di_{Sa}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Ra} + k_R p \omega_m \psi_{R\beta} \\
 \vec{u}_{S\beta} &= r i_{S\beta} + L'_s \frac{di_{S\beta}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{Ra} \\
 0 &= -k_R R_R i_{Sa} + \frac{1}{T_R} \psi_{Ra} + \frac{d\psi_{Ra}}{dt} + p \omega_m \psi_{R\beta} \\
 0 &= -k_R R_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} \psi_{R\beta} + \frac{d\psi_{Ra}}{dt} + p \omega_m \psi_{Ra} \\
 M &= \frac{3}{2} p k_R (\psi_{Ra} i_{S\beta} * \psi_{R\beta} i_{Sa}) \\
 J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_H
 \end{aligned}
 \tag{3.39}$$

Система рівнянь (3.2.38) в операторній формі набуде вигляду:

$$\begin{aligned}
 \vec{u}_{Sa} &= r(1 + T'_s) i_{Sa} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{Ra} + k_R p \omega_m \psi_{R\beta} \\
 \vec{u}_{S\beta} &= r(1 + T'_s) i_{S\beta} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{Ra} \\
 0 &= -k_R R_R i_{Sa} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_s) \psi_{Ra} + p \omega_m \psi_{R\beta} \\
 0 &= -k_R R_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_s) \psi_{R\beta} - p \omega_m \psi_{Ra} \\
 M &= \frac{3}{2} p k_R (\psi_{Ra} i_{S\beta} - \psi_{R\beta} i_{Sa}) \\
 J s \omega_m &= M - M_H \\
 T'_s &= \frac{L'_s}{r}
 \end{aligned}
 \tag{3.40}$$

Безрозмірні коефіцієнти, необхідні для моделювання рівнянь (3.40), поміщені в таблицю 8.

Таблиця 8

| Безрозмірні коефіцієнти | | | | | |
|-------------------------|-------|----------|--------|-------|-------|
| Коефіцієнти | r | T_{SS} | L'_S | K_R | T_R |
| Одиниці виміру | Ом | с | Гн | | с |
| Значення | 0,112 | 0,017 | 0,0019 | 0,992 | 1,243 |

Структурна схема асинхронного двигуна с короткозамкненим ротором, побудована за рівняннями (3.40) з вентиляторної навантаженням відповідно до виразом (3.38), представлена на рисунку 25.

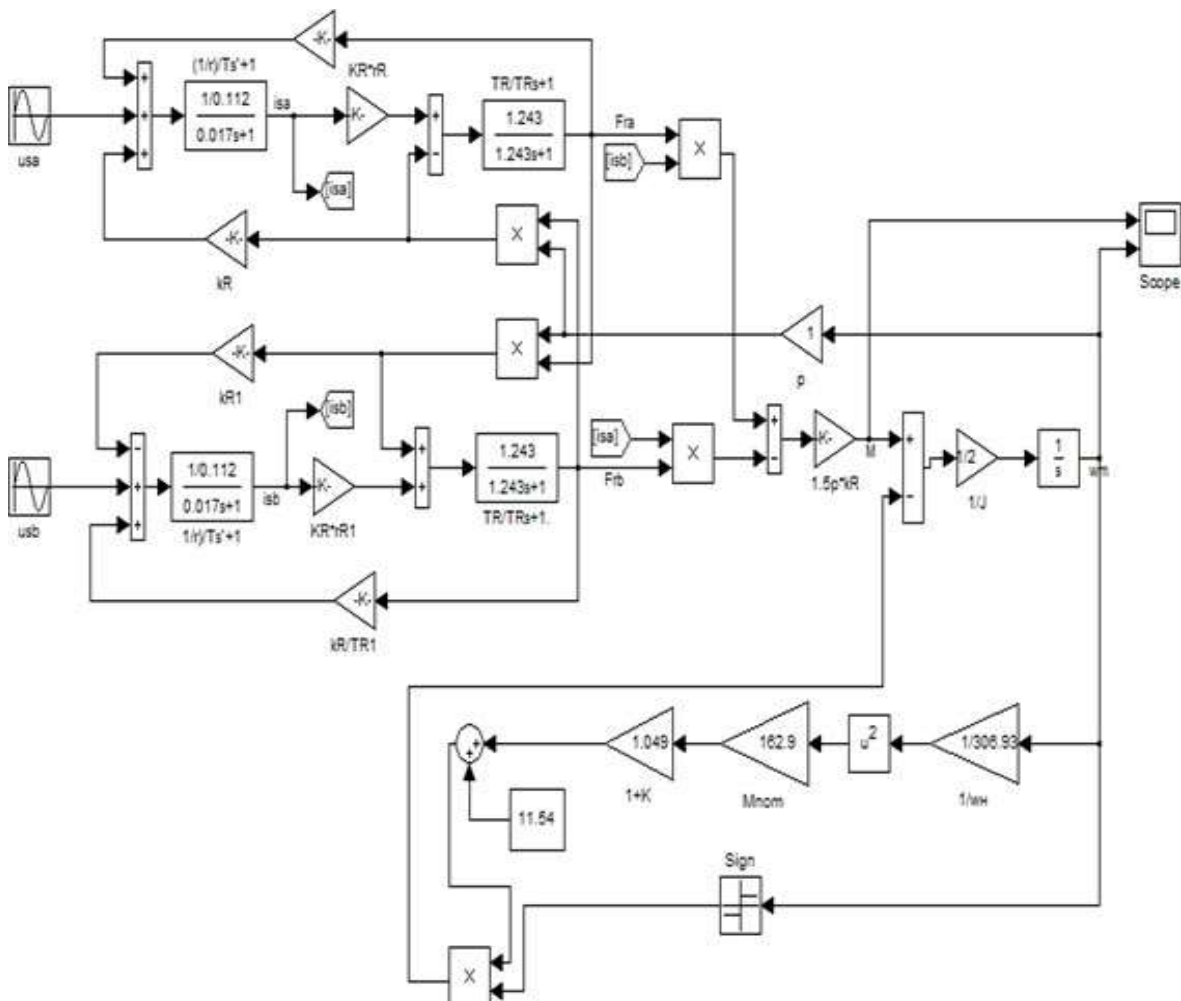


Рисунок 25 – Структурна схема асинхронного двигуна с короткозамкненим ротором у нерухомій системі координат з вентиляторним навантаженням.

Результати моделювання процесів пуску двигуна представлені на малюнку 26. На часовому відрізку від 0 до 2,4 с на двигун подається напруга і двигун розганяється швидкістю 306,93 ω / рад·с під навантаженням 162,9 Н·М

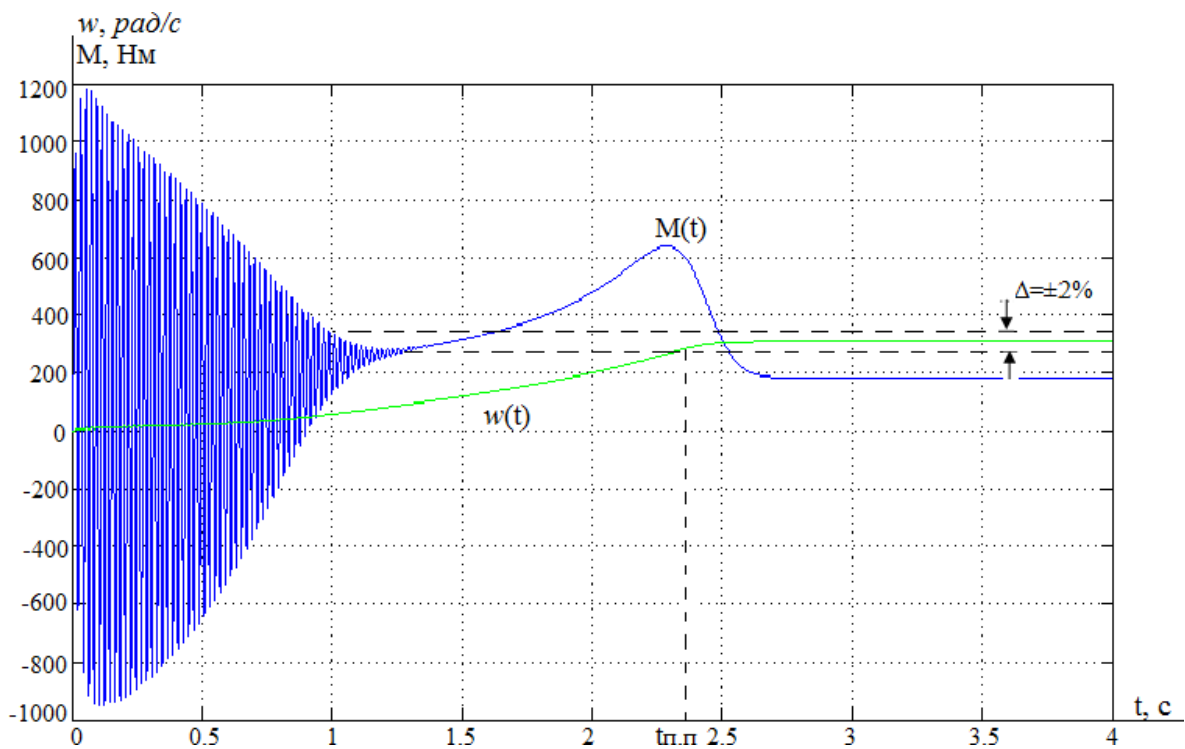


Рисунок 26 - Результати моделювання АКЗ в нерухомій системі координат

За результатами отриманих графіків перехідних процесів швидкості і моменту, видно що, перехідні процеси при структурної схеми АТ повністю збігаються з використанні готової моделі АТ.

РОЗДІЛ 4

ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

4.1. Вибір перетворювача частоти

Для регульованого асинхронного електроприводу вентилятора обрана перетворювач частоти EI-7011-075H фірми ВЕСПЕР.

Відповідно до умови

$$I_{и.н} \geq I_n = 94.6A$$



Рисунок 27 - Перетворювач частоти EI-7011-075H

Параметри перетворювача частоти моделі EI-7011-075H наведено в таблиці

9

Таблиця 9

Параметри перетворювача частоти

| Модель | Кількість фаз на вході | $I_{и.н}$, А | Номінальна потужність, кВА | Потужність електродвигуна, кВт |
|---------------|------------------------|---------------|----------------------------|--------------------------------|
| EI -7011-075H | 3 | 128 | 75 | 55 |

Ei-7011 перетворювач частоти загальнопромислового застосування. Нова серія, розроблена на базі найпопулярнішого перетворювача EI-7001.

Широко використовуються в технологічному обладнанні, де застосовується керований електропривід: змішувачах, дозаторах, виробничих лініях, системах водопостачання, вентиляції, димососах, підйомно-транспортному і т.п. обладнанні.

Технічні характеристики:

- Діапазон потужностей 0,75 кВт-315 кВт;
- Повний захист двигуна;
- Вбудований ПД-регулятор;
- Мова команд пульта управління-Українська;
- Аналогові та цифрові входи / виходи для регулювання та дистанційного керування;
- Можливість дистанційного керування та моніторингу по RS - 232 / RS-485 (Про MODBUS);
- Живлення 380 В, 50 Гц;

Загальні технічні дані перетворювача частоти EI -7011:

- Максимальна вихідна напруга: трифазна 380 ... 460 В (пропорційно вхідній напрузі);
- Номінальна вихідна частота: аж до 400 Гц (досягається за допомогою програмування);
- Номінальна Вхідна напруга і частота джерела живлення: трифазне 380 ... 460 В 50/60 Гц;
- Допустимі коливання вхідної напруги джерела живлення:
- + 10%, 15%;
- Допустимі коливання частоти вхідної напруги джерела живлення: ± 5%;

Характеристики ланцюга управління:

- Метод управління: синусоїдальна широтно-імпульсна модуляція;

- Діапазон управління по частоті: від 0,1 до 400 Гц;
- Точність частотних режимів: Цифрова команда: $\pm 0,01\%$ (від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$), Аналогова команда: $\pm 0,1\%$ (при $25^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$);
- Роздільна здатність по частоті: встановлюється уставкою константи в цифровій формі: 0,1 Гц, встановлюється в аналоговій формі: 0,1 Гц;
- Роздільна здатність по вихідній частоті: 0,1 Гц;
- Запас по перевантаженню: 120% від номінального вихідного струму протягом 1 хв;
- Аналоговий вхід завдання частоти: від 0 до + 10 в (20 кОм), від 4 до 20 мА (250 Ом);
- Час розгону / гальмування: від 0,0 до 3600 с (часи розгону / гальмування мають незалежні уставки);
- Гальмуючий крутний момент: близько 20% без гальмівного резистора, з зовнішнім гальмівним резистором - 100 %;
- Гальмівний переривник:
- Вбудований в перетворювач (для моделей до 15 кВт включно);
- Зовнішній гальмівний переривник (18,5 ... 315 кВт);

Захисні функції:

- Короткочасне відключення живлення:
- Негайне відключення вихідної силової напруги при короткочасному припиненні подачі живлення на 15 мс і більше (заводське значення). Можливе відновлення управління після відновлення подачі напруги при його припиненні на час не більше 2 с (від 0,75 до 75 кВт);
- Негайне відключення вихідної силової напруги при припиненні подачі живлення (від 93 до 315 кВт);
- Перегрів радіатора-тепловідведення: захищений термістором;
- Запобігання зриву обертання: запобігання зриву під час розгону / гальмування і обертання з постійною швидкістю;
- Захист від струмів витоків: захищений електронним ланцюгом

(порушення балансу вихідних струмів);

- Індикація заряду шини: світловий індикатор "Заряд" горить, поки напруга шини не впаде нижче 50 В;

Навколишнє середовище:

- Температура навколишнього середовища:
- від -10°C до + 40°C (для виконання в пластмасовому корпусі);
- від -10°C до + 45°C (для виконання в металевому корпусі);
- Температура зберігання: від -20°C до + 60°C;
- Призначений для експлуатації: всередині приміщення, захищеного від корозійних Вологість: відносна вологість не більше 90%;
- газів і пилу;
- Висотність: не більше 1000 м;
- Вібрація: від 9,81 м / с² (1G) при менш, ніж 20 Гц , до 1,96 м/с² (0,2 g) від 20 до 50 Гц;

Схема підключення перетворювача частоти наведена на рисунку 28.

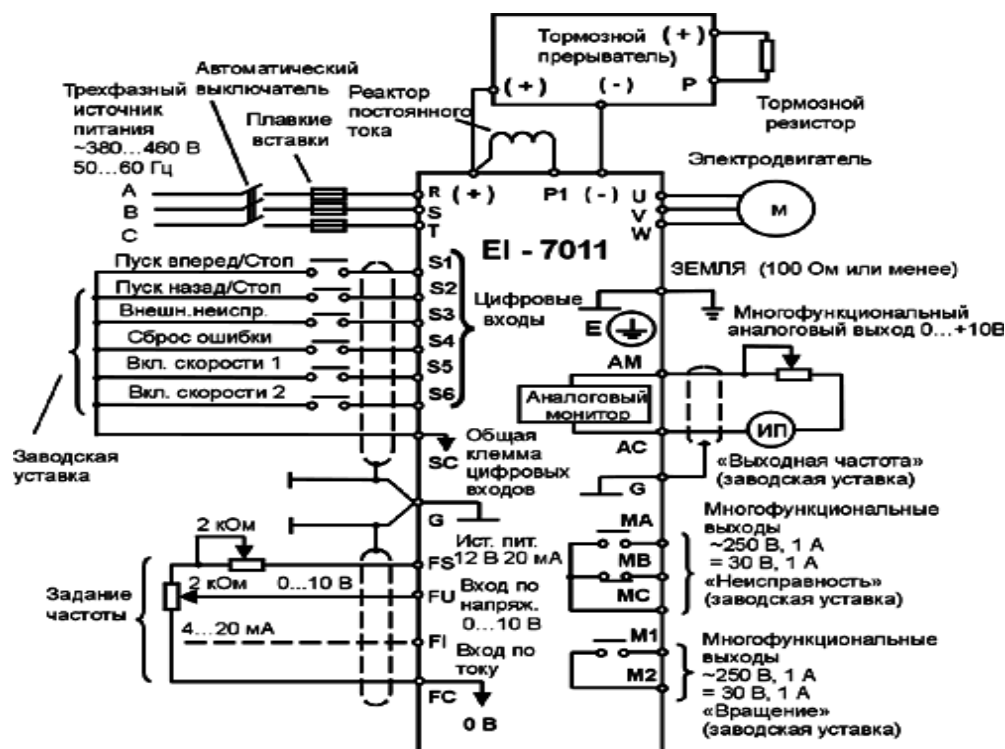


Рисунок 28 - Схема підключення перетворювача частоти

4.2. Вибір закону частотного регулювання

З урахуванням того, що діапазон регулювання швидкості вентиляторів невеликий і механізми такого класу не вимагають забезпечення високої кратності пускового і максимального моментів, в якості законів регулювання U_1/f_1 можуть бути прийняті закони $U_1/f_1 = \text{const}$ та $U_1/f_2 = \text{const}$. Останній є більш складним в реалізації, але за рахунок додаткового зниження напруги дозволяє зменшити споживану з мережі енергію. Для підвищення пускового моменту на малих швидкостях до необхідних значень повинна бути передбачена можливість налаштування вольт-частотної характеристики. Визначаючи параметри вольт-частотної характеристики, нижнім частотам ставлять у відповідність значення напруг вище, ніж при обраному законі регулювання.

4.2.1. Механічні характеристики системи перетворювач-двигун при законі $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Вольт-частотна характеристика перетворювача при законі регулювання, розраховується за виразом (4.2.40)

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} * \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 \quad (4.1)$$

Механічні характеристики $\omega(M)$ розімкнутої системи перетворювач частоти-асинхронний двигун при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряду обраних значенні вихідної частоти інвертора в інтервалі від 5 до 50Гц розраховується за виразами (4.2):

$$M(s, f_1) = \frac{3 * U_1^2(f_1) * R'_2}{\omega_0 * \frac{f_1}{f_{1H}} * s * \left[\left(X_{KH} * \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 * R'_2}{s * X_\mu * \frac{f_1}{f_{1KH}}} \right)^2 \right]} \quad (4.2)$$

За результатами розрахунку на рисунку 29 побудована сімейства механічних характеристик $\omega(M)$ системи перетворювач – двигун при зміні частоти.

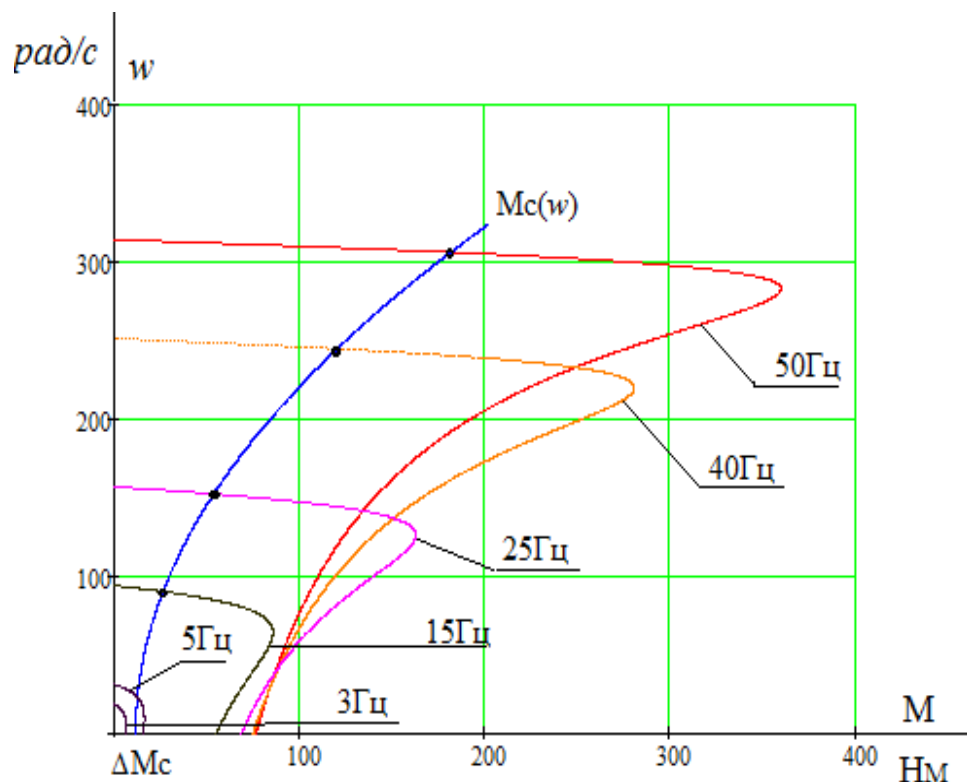


Рисунок 29 - Механічні характеристики $\omega (M)$ системи перетворювач-двигун при законі $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Аналіз наведених на малюнку механічних характеристик електроприводу і навантаження показує, що при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не вдається забезпечити пуск електроприводу при виборі частоти $f = 3\text{Гц}$.

Для підвищення пускового моменту на малих швидкостях до необхідних значень передбачена можливість налаштування вольт – частотної характеристики. Визначаючи параметри вольт-частотної характеристики,

нижнім частотам ставлять у відповідність значення напруг вище, ніж при обраному законі регулювання.

Вольт-частотна характеристика представлена залежністю

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) * \left(\frac{f_1}{f_H}\right)^2$$

й зображена на рисунку (30).

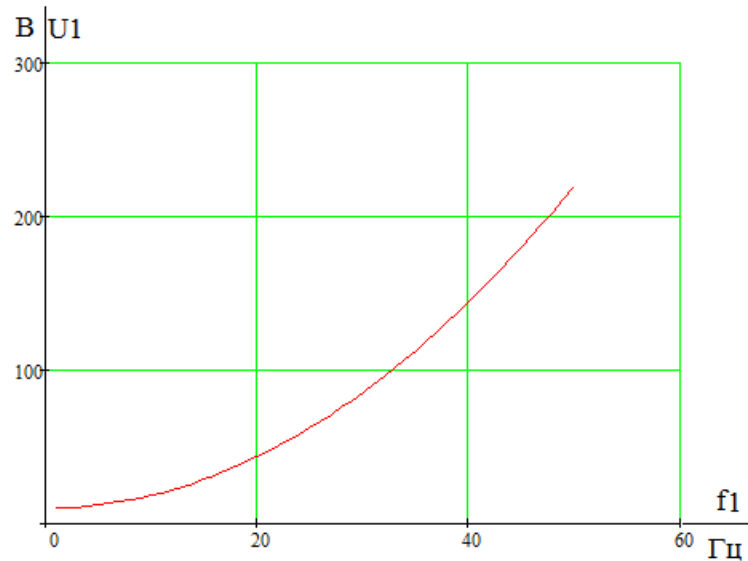


Рисунок 30 – Вольт-частотна мережі характеристика ротора перетворювача при законі $U_1/f_1^2 = \text{const}$

З метою забезпечення збільшення пускового моменту експериментально обрані параметри початкової ділянки вольт-частотної характеристики перетворювача. При 3гц вибрано мінімальну напругу 10в. механічні характеристики системи перетворювач – двигун, розраховані з урахуванням обраної настройки вольт – частотної характеристики і її параметрів наведені на рисунку 31.

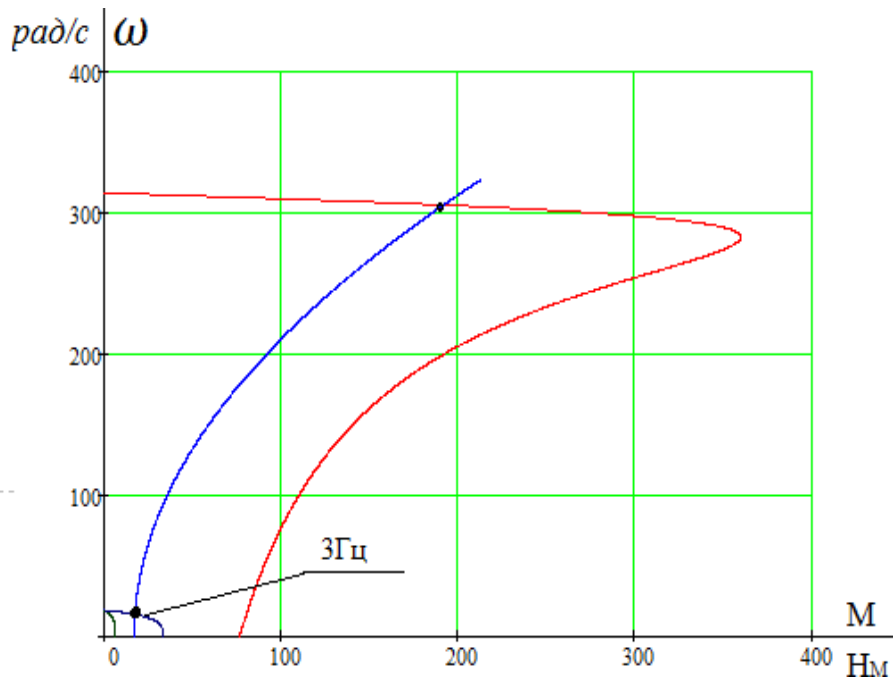


Рисунок 31 - Механічні характеристики системи перетворювач-двигун при налаштуванні вольт-частотної характеристики

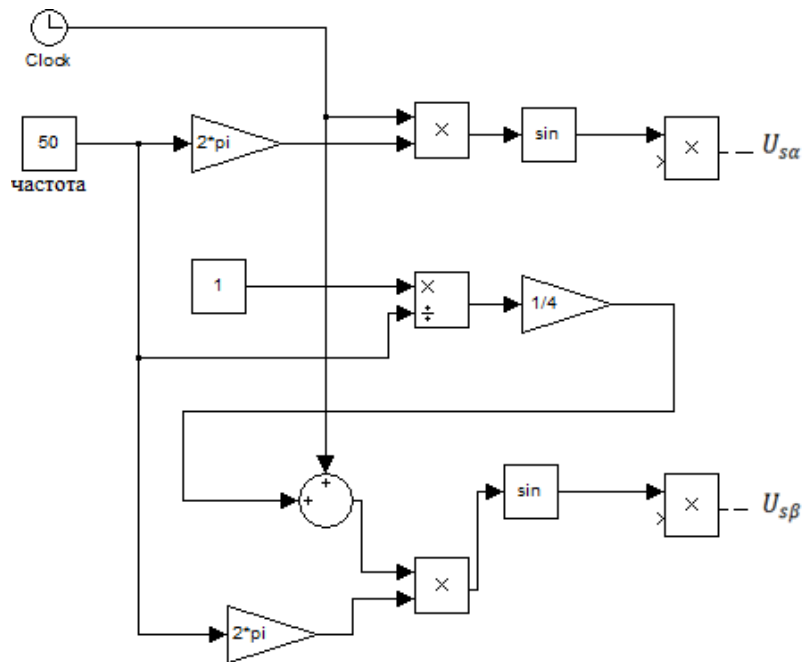


Рисунок 32 - Імітаційна модель підсистеми "Source", що представляє собою джерело синусоїдальних напруг, зрушених на 90° відносно один одного

4.2.2. Імітаційна модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі координат і вентиляторного навантаження при законі $U_1/f_1^2 = \text{const}$

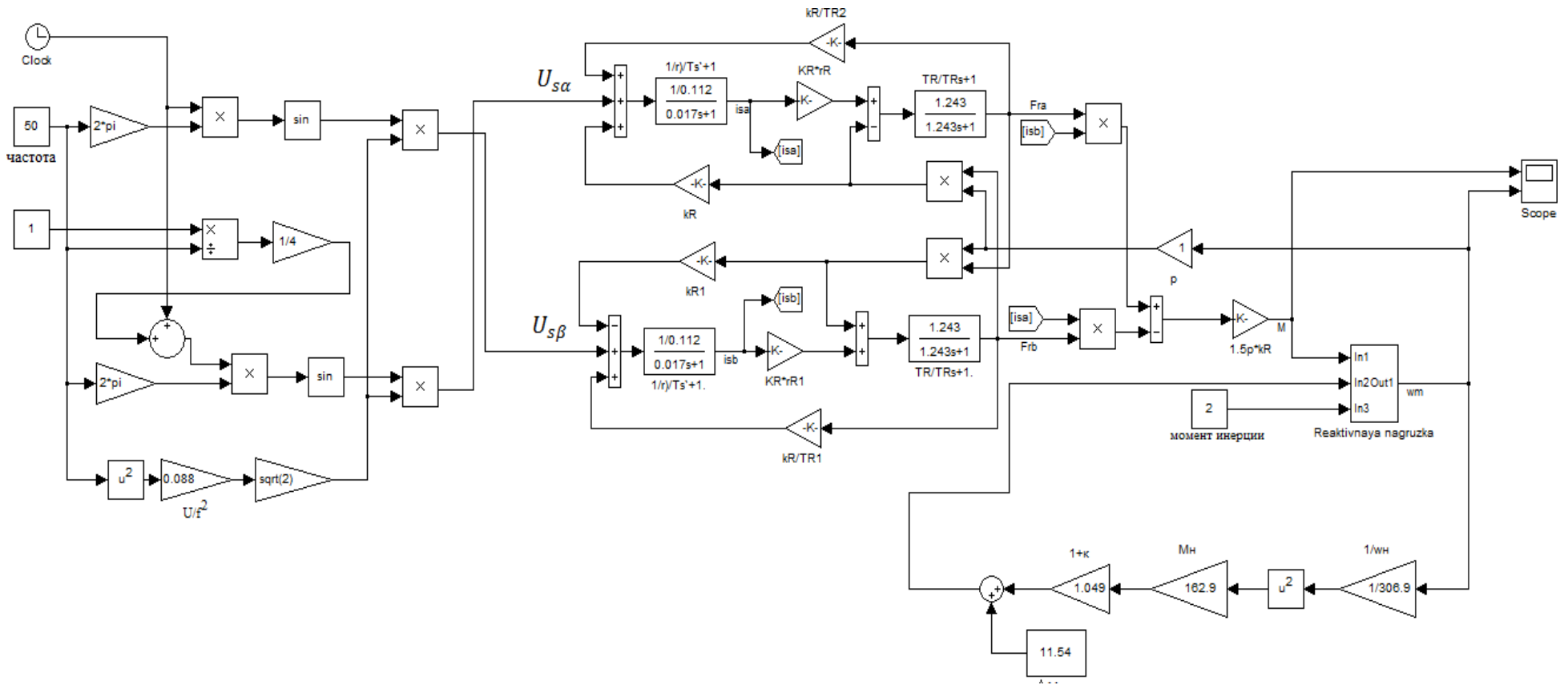


Рисунок 33 - Імітаційна модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі координат і вентиляторного навантаження

У нерухомій комплексній системі координат дійсна вісь позначається α , а уявна β .

$$U_{sa} = \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$U_{s\beta} = \sin \omega t \tag{4.3}$$

Рисунок 34 - Перехідні процеси пуску АТ з вентиляторним навантаженням при законі $U_1/f_1^2 = \text{const}$ при частоті 50 Гц

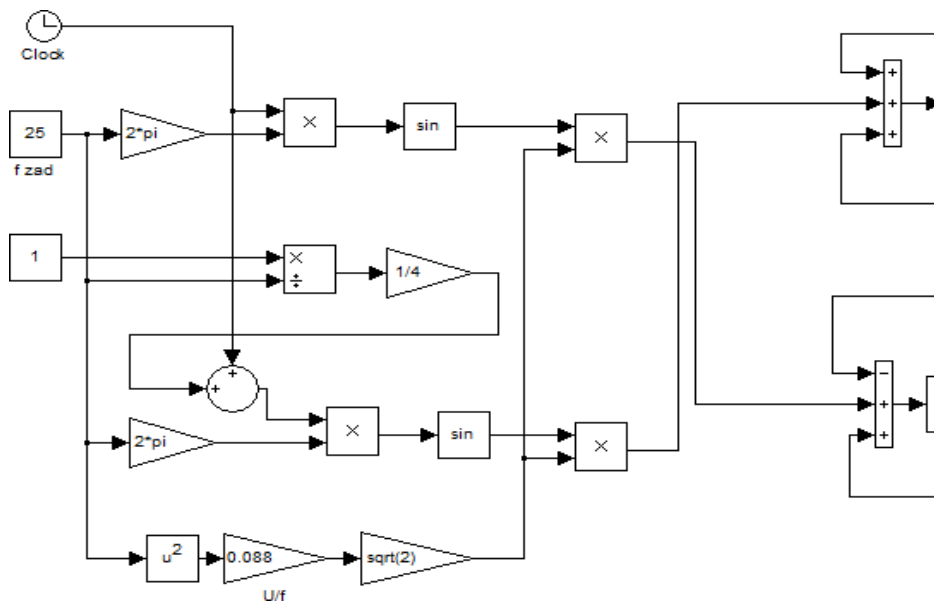
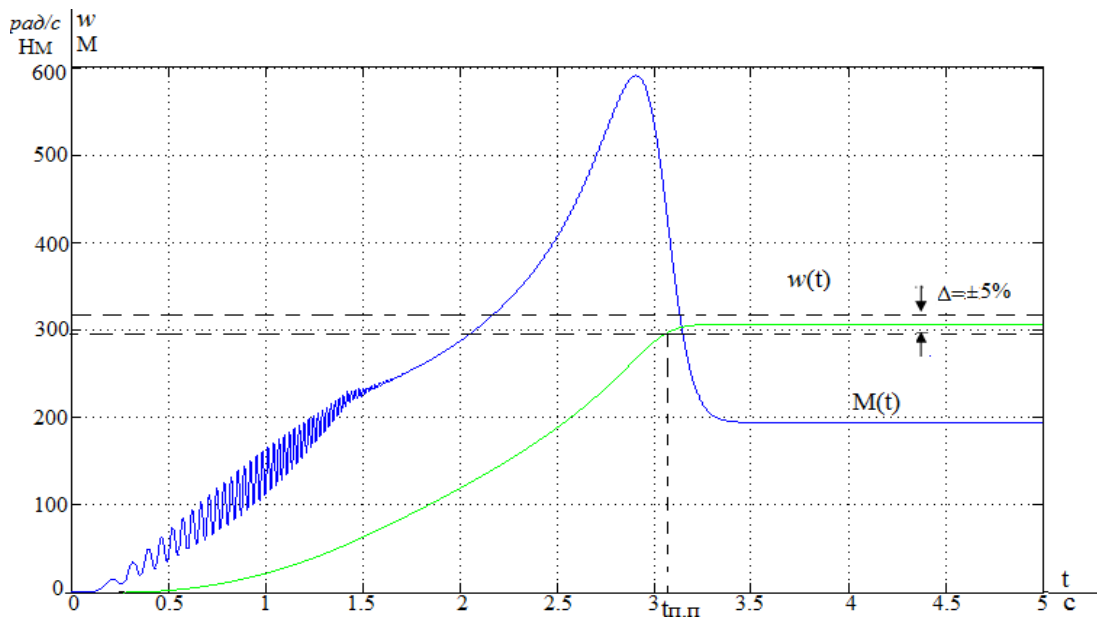


Рисунок 35 - Зниження частоти до 25 Гц при законі $U_1/f_1^2 = \text{const}$ підсистемі «Source»

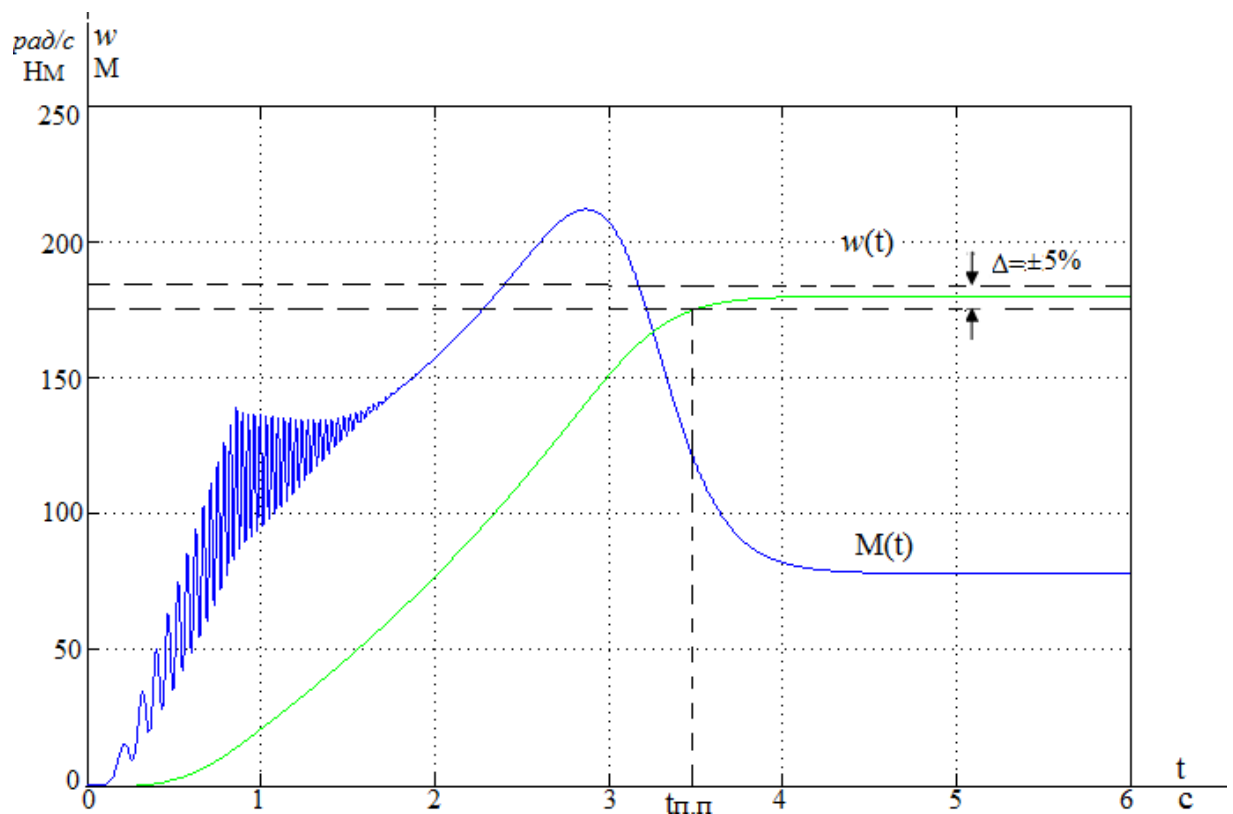


Рисунок 36 - Перехідні процеси пуску АТ з вентиляторним навантаженням при законі $U_1/f_1^2 = \text{const}$ при частоті 25 Гц

Як було показано вище (рисунок 29), при такому законі при малих частотах (3 Гц) не забезпечується пуск електроприводу. Отже, застосовуємо дану настройку вольт-частотної характеристики.

Вольт-частотна характеристика :

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) * \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 \quad (4.4)$$

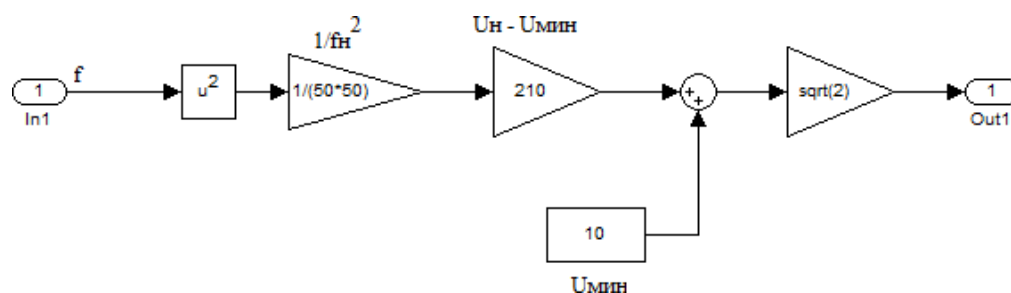


Рисунок 37 - Імітаційна модель вольт частотної характеристики

4.2.3. Структурна схема асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в нерухомій системі координат і вентиляторного навантаження при налаштуванні вольт-частотної характеристики

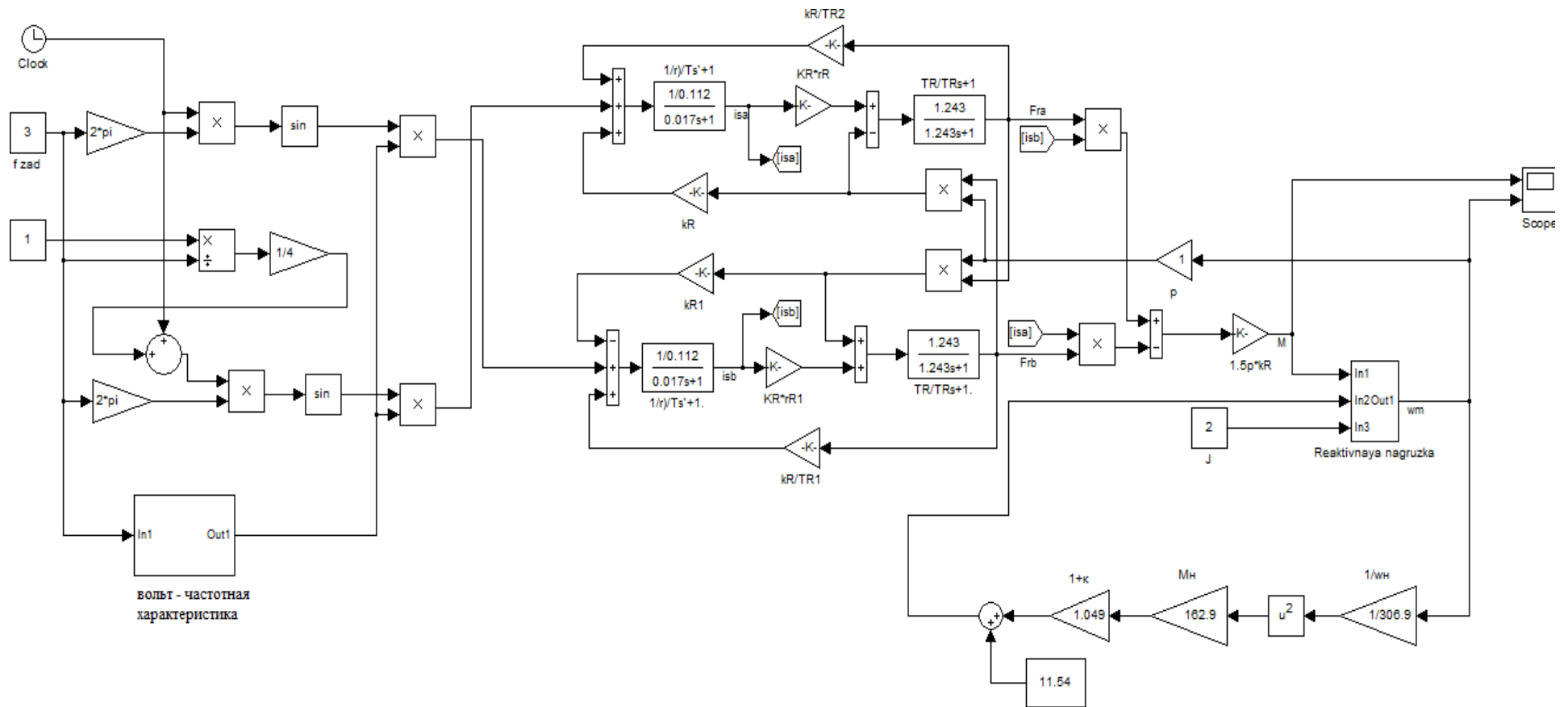


Рисунок 38 - Імітаційна модель АКЗ в нерухомій системі координат і вентиляторного навантаження при налаштуванні вольт частотної характеристики

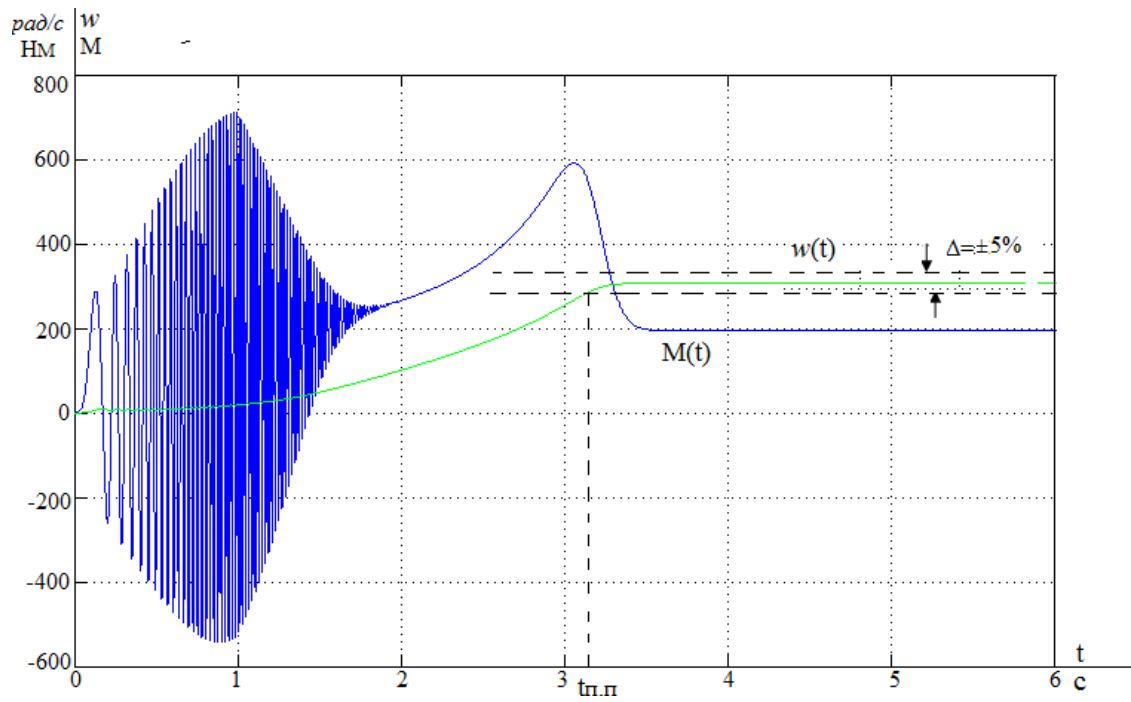


Рисунок 39 - Перехідні процеси пуску АТ з вентиляторним навантаженням при налаштуванні вольт-частотної характеристики при частоті 50 Гц

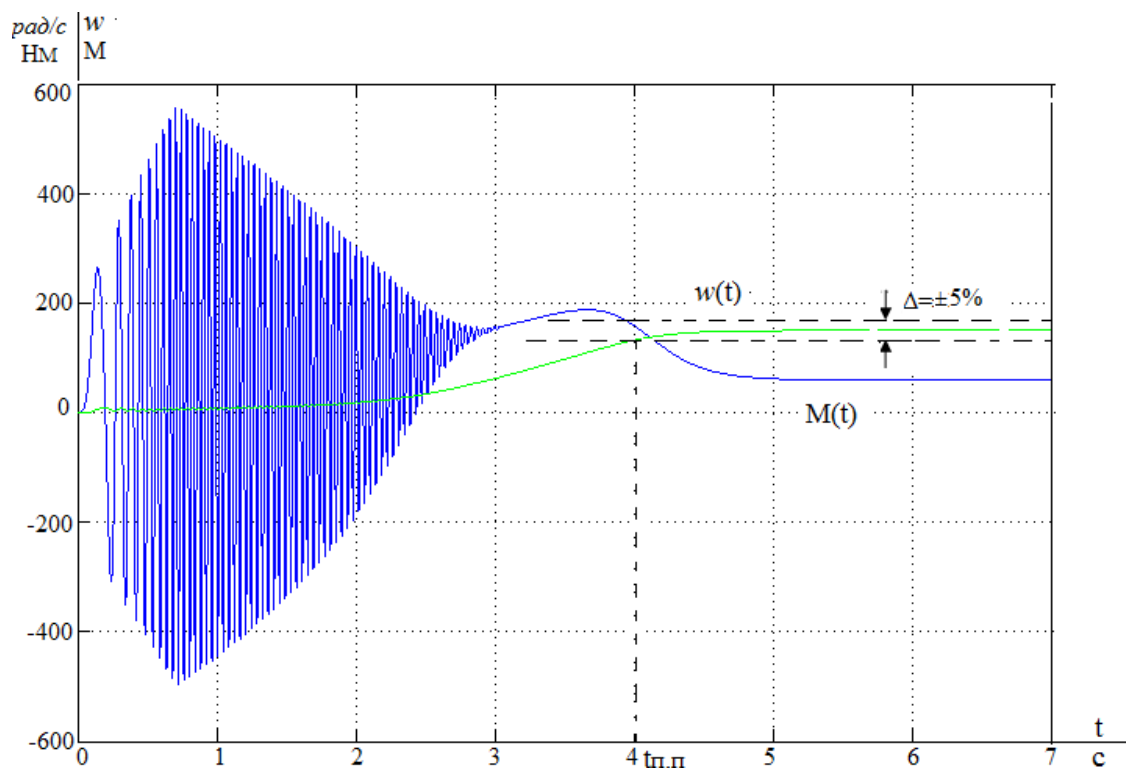


Рисунок 40 - Перехідні процеси пуску АТ з вентиляторним навантаженням при налаштуванні вольт-частотної характеристики при частоті 15 Гц

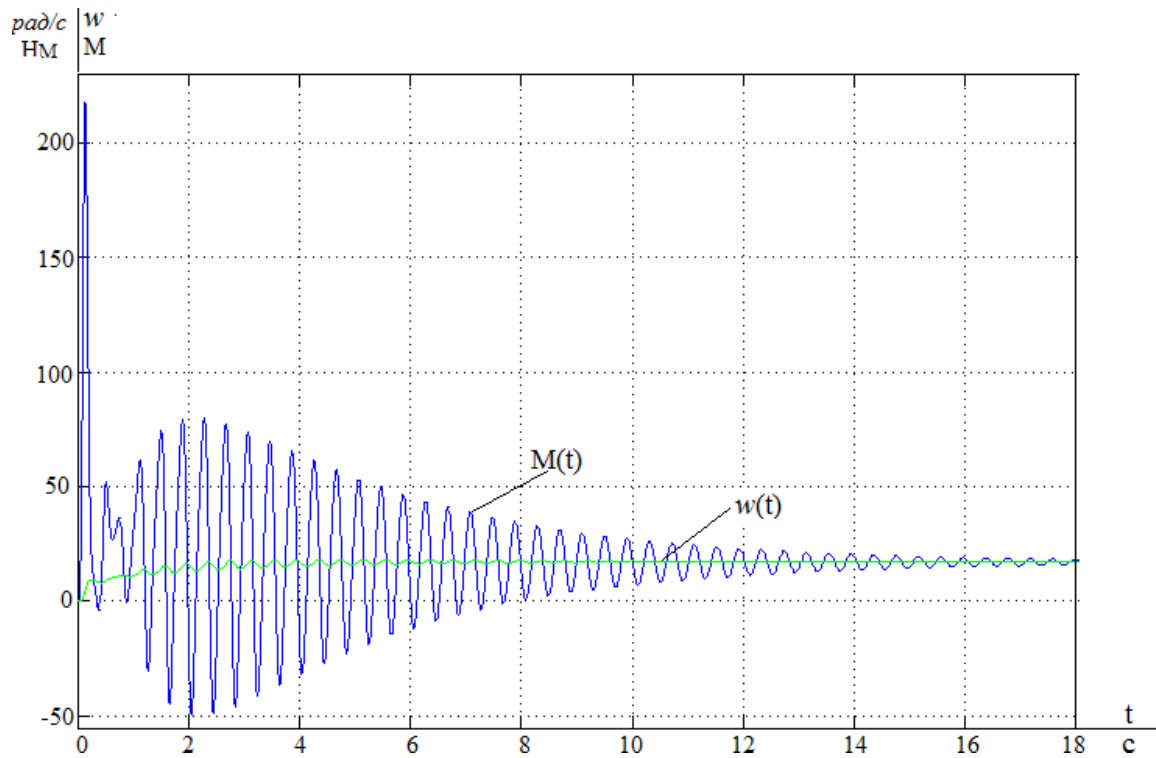
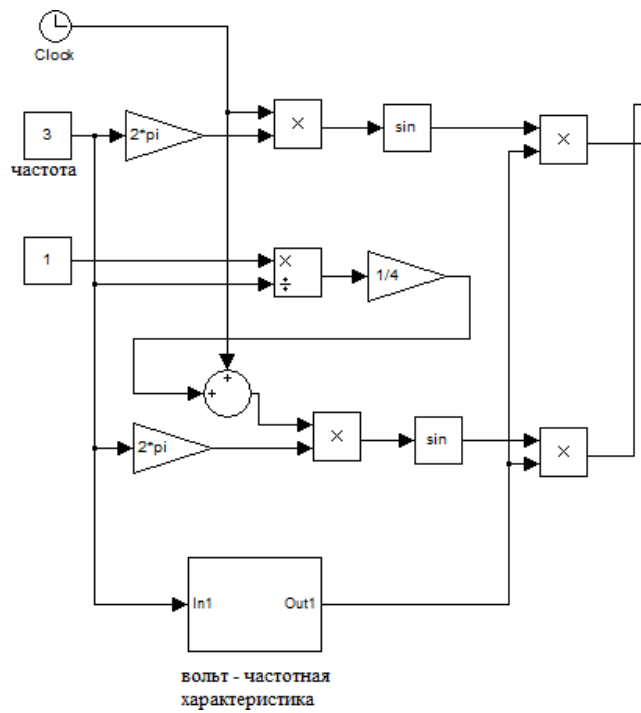


Рисунок 41 - Перехідні процеси пуску АТ з вентиляторним навантаженням при налаштуванні вольт-частотної характеристики при частоті 3 Гц

На рисунку наведені перехідні характеристики швидкості і моменту асинхронного електродвигуна при 3 Гц, що показують пуск двигуна після настройки вольт – частотної характеристики.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній випускній роботі було проєктовано частотно-регульований електропривід шахтного вентилятора місцевого провітрювання та досліджено ефективність впровадження ЧРП.

В ході роботи для регулювання швидкості обертання вентилятора використаний сучасний асинхронний частотно-регульований електропривід.

Отримано механічні та електромеханічні характеристики обраного асинхронного двигуна, побудовані за розрахунковими та каталожними значеннями. Як закон управління, для перетворювача частоти обраний закон регулювання $\frac{U_{1j}}{f_{1j}^2} = const$. Для підвищення пускового моменту на малих швидкостях до необхідних значень передбачена можливість налаштування вольт – частотної характеристики.

Також проведено моделювання перехідного процесу при пуску двигуна в програмному середовищі MatLab Simulink. Був реалізований задатчик інтенсивності. З використанням імітаційних моделей побудовані динамічні характеристики.

В результаті застосування ЧРП значно знижуються експлуатаційні витрати. При зміні частоти обертання, продуктивність вентилятора також зміниться, створюваний тиск зміниться в два рази, а споживана потужність в три рази. ККД вентилятора залишається незмінним. Даний спосіб регулювання є найбільш економічно вигідним.

Ефективність впровадження частотно-регульованого електроприводу визначається не тільки економією електроенергії, підвищенням надійності роботи обладнання і зниженням експлуатаційних витрат. Важливою перевагою є можливість оптимізації режимів роботи, підвищення рівня автоматизації, а також зручність і простота впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Л.С.Удуд. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно – регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С.Удуд, О.П.Мальцева, Н.В Кояин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 – 448с.

2. А.Ю.Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю.Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; томский Политехнический Университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2011–2013 с. 3. MATLAB Simulink Проектирование мехатронных систем на ПК: учебное пособие / С.Г. Герман – Галкин; Корона – век, 2008 – 368 с.

4. В.Б. Терехин. Моделирование систем электропривода в Simulink(Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терехин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010 – 292 с.

5. И.П.Копылова Справочник по электрическим машинам: Том 2/С74 Под общей редакцией И.П.Копылова, Б.К. Клокова.–М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688с.

6. Калинушкин М.П. Насосы и вентиляторы: учебное пособие для вузов, 6-е издание. – М.: Высшая школа, 1987. – 176с.

7. Онищенко Г.Б. Рег. Автоматизированный электропривод промышленных установок: Уч. пособие для ВУЗов, М.: Энергоатомиздат, 2002 г.

8. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов.–М.: Энергоатомиздат; 1986–416с.

9. С.Н. Вешеневский Характеристики двигателей в электроприводе. Изд. 6-е, исправленное. М., «Энергия».

10. Башарин А.В., Голубев Ф.Н., Кепперман В.Г. Примеры расчетов автоматизированного электропривода. – Л.: Энергия, 1971. - 440 с.

11. Шрейнер Р.Т. математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты: - Екатеринбург: УРО РАН, 2000.–654 с.

12. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов.–М.: Высшая школа, 2001 – 327 с.

13. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотно – регулируемых асинхронных электроприводах.– Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 1998.–172с.

14. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат: Ленинградотд – ние, 1982.–392 с.