Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ТЕМА РОБОТИ

Модернізація електромеханічного обладнання компресорної установки ВХ-350-7-2 в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Виконав:
студент групи ЕЕМ-23-ск _____ Горуля О.Ф.
Керівник випускної роботи _____ д.т.н., проф. В.К. Титюк
Нормоконтролер _____ д.т.н., проф. В.К. Титюк
Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. В.О. Федотов
Гарант освітньої програми _____ к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Кривий Ріг
2026 р.

ЗАВДАННЯ НА

ВИПУСКНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Горулі Олександру Федоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація електромеханічного обладнання компресорної установки ВХ-350-7-2 в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»
2. Строк подання здобувачем роботи : 10 червня 2026 р.
3. Мета та завдання випускної роботи:

Мета та завдання випускної роботи – дослідження роботи електроприводу компресорної установки ВХ-350-7-2 в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», аналіз статичних та енергетичних характеристик електроприводу, розрахунок динамічних режимів електроприводу у MATLAB/Simulink.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) :

Опис технологічного устаткування; Електромеханічне обладнання компресорної установки; Розрахунки статичних режимів роботи електроприводу;
Розрахунок замкненої системи керування та аналіз динамічних режимів електроприводу компресорної установки у замкненій системі керування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайди презентації у кількості 8 штук

3.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026
II	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026
III	Титюк В.К.	05.05.2026	10.06.2026

7.Календарний план виконання роботи та консультацій

№	Назва етапів роботи	Дата виконання
1	Огляд та характеристики компресорної установки ВХ-350-7-2	11.05.2026
2	Обґрунтування доцільності використання регульованого електроприводу.	15.05.2026
3	Визначення параметрів схеми заміщення, розрахунок природних статичних та енергетичних характеристик електроприводу компресора.	20.05.2026
4	Розрахунок штучних статичних та енергетичних характеристик електроприводу компресора	22.05.2026
5	Вибір та обґрунтування системи управління.	25.05.2026
6	Дослідження динамічних режимів регульованого електроприводу компресора у MATLAB/Simulink.	1.06.2026
7	Розрахунки системи електропостачання	05.06.2026
8	Оформлення пояснювальної записки та презентації випускної роботи. Перевірка на антиплагіат.	10.06.2025

Дата видачі завдання *05.05.2026 р.*

Здобувач вищої освіти _____ Горуля О.Ф.
(підпис)(ПІБ)

Керівник роботи _____ Титюк В.К.
(підпис) (ПІБ)

ЗМІСТ

Реферат 5
Вступ 7
Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ 9
1.1 Характеристики технологічного процесу і механізму 9
1.2 Принцип дії гвинтового компресора 12
1.3 Технічні характеристики холодильних компресорів типу ВК 14
1.4 Вимоги до електроприводу турбомеханізмів 15
1.5 Розрахунок потужності електропривода компресора 16
1.6 Вибір перетворювача частоти 18
Висновки до розділу 1 25
Розділ 2 РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ВХ-350-7-2 26
2.1 Визначення параметрів Т-подібної схеми заміщення АД 26
2.2 Розрахунок природних характеристик електродвигуна гвинтового компресора 29
2.3 Розрахунок штучних характеристик частотно-керованого електроприводу гвинтового компресора 34
2.4 Математичне моделювання прямого пуску асинхронного двигуна у MATLAB/Simulink 38
Висновки до розділу 2 39
Розділ 3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 40
3.1 Розрахунок електричних навантажень 41
3.2 Вибір трансформатору 45
3.2.1 Вибір високовольтних трансформаторів 45
3.2.2 Вибір цехового трансформатору 46
3.3 Розрахунок лінії електропередачі 47
3.3.1 Вибір кабелю по допустимому навантаженню 47
3.3.2 Вибір кабелю по економічній щільності струму 48
3.3.3 Вибір ЛЕП по допустимому навантаженню 49
3.3.4 Вибір ЛЕП по економічній щільності струму 50
3.4 Розрахунок струмів короткого замикання 50
3.4.1 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1кВ (т. К1) 50
3.4.2 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1кВ (точка К2) 52
3.5 Вибір захисних апаратів 56
3.5.1 Вибір плавкого запобіжника 56
3.5.2 Вибір автоматичного вимикача 56
Висновки до розділу 3 57
Висновки по роботі 58
Перелік використаних джерел 60

					КНУ РБ.141.26.250с.2.ЗМ			
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис					
Розроб.		Горуля О.Ф.			Зміст	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Титюк В.К.					4	
Реценз.						ЕМ гр. ЕЕМ-23ск		
Н. Контр.		Титюк В.К.						
Затверд.		Пересунько І.І.						

Реферат

60 сторінок, 9 таблиць, 18 рисунків, 10 джерел літератури.

Тема випускної роботи: Модернізація електромеханічного обладнання компресорної установки ВХ-350-7-2 в умовах ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Об'єктом дипломного проєкта є електромеханічне обладнання компресора ВХ-350-7-2 холодильної установки.

Мета проекта: Обґрунтування та розробка системи регульованого електропривода гвинтового компресора, що забезпечує покращення його техніко-економічних показників шляхом плавного запуску та економічного регулювання швидкості обертання компресора.

Виконано порівняльний аналіз способів регулювання частоти обертів асинхронного двигуна, рекомендовано до впровадження електропривод по системі «перетворювач частоти – асинхронний двигун». Виконано вибір основного електротехнічного обладнання, виконано розрахунки статичних та динамічних режимів роботи електропривода. Виконано розрахунок елементів системи електропостачання цеха, де використовується компресор.

Ключові слова: гвинтовий компресор, асинхронний двигун, частотне керування, статичні характеристики, математичне моделювання, електропостачання.

Вступ

Сучасні машини й механізми в різних областях техніки повинні відрізнятися великою продуктивністю при необхідній точності обробки, високим рівнем автоматизації, що полегшують обслуговування, а також мати порівняно невисоку первісну вартість і невеликі експлуатаційні витрати, бути надійними й довговічними.

Виконанню цих вимог сприяє автоматизований електропривод, за допомогою якого можна здійснити плавне й широке регулювання швидкості виконавчого механізму, тобто забезпечити оптимальні технологічні режими. У той же час використання широко регульованого електропривода дозволяє наблизити електродвигун до робочого органу механізму, отже, спростити кінематичні зв'язки, тобто здійснити механізми в цілому більш точними. При використанні електропривода й відповідної системи керування легко автоматизує технологічний процес, а безперебійна робота електропривода підвищує надійність експлуатованих машин і механізмів. Тому дослідження й створення ефективних керованих електроприводів є важливим завданням теорії й практики сучасного автоматизованого електропривода.

Дослідники й інженери, що працюють в області автоматизованого електропривода, в останні роки все більший інтерес проявляють до питань частотного керування асинхронними двигунами. Цей інтерес підсилюється тим, що вже в цей час не виникає сумнівів у можливості й доцільності створення й серійного виготовлення статичних перетворювачів частоти на тиристорах,

що відрізняються високими енергетичними показниками, підвищеною надійністю, більшою швидкодією, безшумністю, що й забезпечують на своєму виході необхідне співвідношення між частотою й амплітудою напруги як у статичних, так і в динамічних режимах.

Дотримання необхідного й автоматично встановлюваного співвідношення між частотою й амплітудою підведеної до статора асинхронного двигуна напруги забезпечується в замкнених системах частотного керування. Тільки в автоматично діючих системах можливо оптимальне керування асинхронними двигунами, причому електричний привод змінного струму, будучи безконтактним, може мати кращі характеристики в порівнянні з автоматично керованим приводом постійного струму.

Асинхронний двигун у цьому випадку в перехідному режимі може розвивати суттєво більші моменти, чому двигун постійного струму, що забезпечує електроприводу високу швидкодію з відносно малими втратами енергії, а в усталеному режимі - плавне, широке й економічне регулювання швидкості.

Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ

1.1 Характеристики технологічного процесу і механізму

Сьогодні світ іде по шляху скорочення витрат на виробництво будь-якої продукції. І одним з основних факторів, що виявляють вплив на витрати є встаткування, його автоматизація й технологічність. Говорячи про технологію стисненого повітря можна помітити, що ера поршневого компресора йде в минуле.

Як затверджує статистика, на даний період часу більш 10 відсотків споживаною промисловістю електричної енергії припадає на компресорне встаткування. Цифри вражають уяву, а все тому, що на досить великій кількості підприємств використовується застаріле обладнання – поршневі компресори, які варто було б замінити більш вигідними з економічної точки зору гвинтовими моделями.

Кожне підприємство, що використовує у своїх виробничих циклах стиснене повітря або інший газ, має проблеми з устаткуванням, яке його робить. Це й низький ККД, втрати масла, сильний шум від роботи компресора, низька якість повітря на виході. І це далеко не повний перелік недоліків. Гвинтовий компресор позбавлений їх.

Перш за все - це вартість гвинтового компресора. Так, гвинтовий компресор коштує дорожче відсотків на п'ятдесят від аналогічного поршневого. Виготовлення гвинтової пари вимагає високої точності, а це завжди недешево. Але результатом такого виготовлення гвинтового компресора, буде тривалий термін служби. Фактично він перевищує в 2-3 рази показники компресорів інших конструкцій.

По показникові споживання електроенергії на одиницю вироблюваної продукції гвинтовий компресор, залишає за своїх конкурентів. Це пов'язане з тим, що ККД гвинтового компресора вище на 10-15 відсотків. А при наявності схеми зі змінюваною частотою обертання - до 30 відсотків.

Гвинтовий компресор повністю автоматизований для виробництва стисненого повітря за допомогою спеціальних електронних блоків керування. Тому немає необхідності в постійній присутності обслуговуючого персоналу. Обслуговування й ремонт доручите виробникові, або його сервісному центру.

Також, завдяки електронному керуванню є можливість програмувати довгострокову роботу гвинтового компресора. Управляти роботою декількох гвинтових компресорів, підключаючи й виключаючи їх до системи в міру споживання стисненого газу.

Дуже зручним є практично відсутність тертьових механічно деталей. А це означає що термін служби гвинтового компресора при правильнім дотриманні всіх умов і рекомендацій виробника складе 10 — 12 років при цілодобовому режимі роботи.

Гвинтовий компресор дуже малошумний. При наявності спеціальних шумозахисних кожухів його можна встановити безпосередньо біля споживача. Що також зменшить ваші витрати й втрати при транспортуванні газу.

Виходячи з вищевикладеного можна сказати, що гвинтовий компресор не дивлячись на первісні витрати при придбанні, є гідною, якісною й вигідною заміною своєму попередникові.

Гвинтові компресори малої й середньої продуктивності часто використовуються у виробництві різних холодильних установок, поступово витісняючи з даної позиції поршневі агрегати. Їхнє поширення обумовлене високою надійністю, більшим моторесурсом до капітального ремонту (40 000 годин), а також компактними габаритами й більш досконалою системою охолодження.

Компресор гвинтовий, призначений для експлуатації в холодильнім устаткуванні середньотемпературного й низькотемпературного охолодження, відрізняється особливою геометрією проточної частини, спеціальною системою змащення й прецизійним виготовленням гвинтів. Масло в нього подається безпосередньо з масловіддільника, під впливом високого тиску. Це дозволяє виключити зі стандартної схеми маслопостачання окремий масляної насос і як наслідок знизити витрати на його подальше обслуговування.

Компрессор гвинтовий укомплектовується переважно низькообертовими електроприводами. Вони найменш усього піддані механічному зношуванню, характеризуються економічністю й високим ККД, здатністю безперервно й цілодобово функціонувати. Використання у гвинтових компресорах для холодильного устаткування високооборотистих приводів недоцільно через них підвищеної чутливості до гідравлічних ударів, значного збільшення ймовірності виникнення внутрішньої течії, підвищенню рівня вібрації, а також зменшенню терміну служби підшипників. Діапазон номінальних потужностей електроприводів сучасних гвинтових компресорів – від 20 до 100 кВт. При паралельнім підключенні двох і більш агрегатів сукупний рівень потужності може доходити до 700 кВт.

Компресор гвинтової для холодильних установок оснащується одноступінчастими або багатоступінчастими системами регулювання продуктивності й захисту від гідравлічних ударів. Також дані агрегати обладнаються особливою системою контролю пікового навантаження, яке являє собою гідравлічні поршні, керовані за допомогою соленоїдних вентилів.

Сучасні холодильні установки нерідко передбачають можливість паралельного підключення двох або більш гвинтових компресорів. У цьому випадку їх потужність контролюється за допомогою зміни числа обертів електродвигуна частотним перетворювачем. Також паралельне підключення дозволяє використовувати в одній холодильній установці гвинтові компресори різної продуктивності й з різним рівнем тиску усмоктування.

До числа найбільш затребуваних модифікацій холодильного компресорного встаткування ставиться компресор гвинтової напівгерметичний. Установки даного типу оснащуються електродвигунами з високим КПД, для охолодження яких використовується усмоктуваний компресором газ. Також у деяких різновидах гвинтових компресорів для охолодження двигунів передбачена система упорскування рідкого холодоагенту.

У порівнянні з поршневим, компресор гвинтової для холодильного встаткування аналогічної продуктивності відрізняється низьким рівнем енерговитрат на кубічний метр зробленого повітря, більш тривалим терміном служби. Він не вимагає частого технічного й сервісного обслуговування, видає помірний шум при роботі. При необхідності заміна окремих вузлів або деталей гвинтового компресора може бути зроблена протягом півтора-двох годин.

Завдяки своїй економічності, простоті монтажу й низьким експлуатаційним витратам гвинтовими компресорами оснащується більшість сучасних холодильних установок. У майбутньому потреба в компресорах даного типу буде незмінно збільшуватися.

1.2 Принцип дії гвинтового компресора

Конструкція гвинтового компресора запатентована в 1934 році. Надійність у роботі, мала металоємність і габаритні розміри визначили їхнє широке поширення. Крім того, використання гвинтових компресорів дозволяє заощаджувати електроенергію до 30 %. Гвинтові компресори успішно конкурують із іншими типами об'ємних компресорних машин, практично повністю витиснувши їх у пересувних компресорних станціях, суднових холодильних установках.

Типова конструкція компресора сухого стиску, працює без подачі масла в робочу порожнину. Компресор має два гвинтові ротора. Провідний ротор з опуклою нарізкою з'єднаний безпосередньо або через зубчасту передачу із

двигуном. На веденому роторі нарізка з увігнутими западинами. Ротори розташовані в рознімному корпусі, що має один або кілька рознімань. У корпусі виконані розточення під гвинти, підшипники і ущільнення, а також камери усмоктування й нагнітання.

Високі частоти обертання гвинтових компресорів визначають застосування в них опорних і упорних підшипників ковзання.

Між підшипниковими камерами й гвинтовою частиною роторів, у яких стискується газ, розташовані вузли ущільнень, що полягають із набору графітових і баббітових кілець. У камери між групами кілець подається замикаючий газ, що перешкоджає влученню масла з підшипникових вузлів у стисливий газ, а також газу в підшипникові камери.

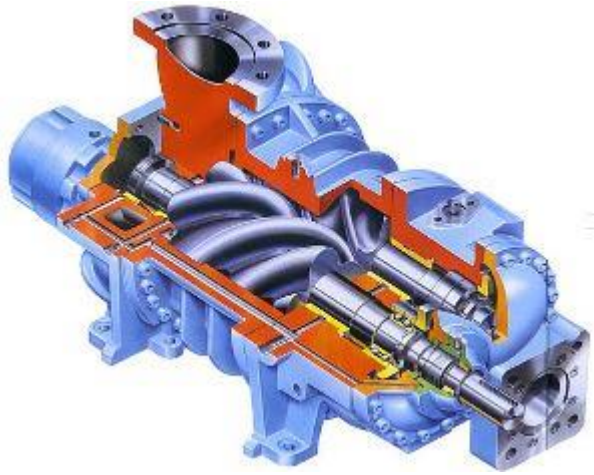
Торкання гвинтів роторів при відсутності змащення неприпустимо, тому між ними залишають мінімальний зазор, що забезпечує безпечну роботу компресора, а синхронна частота обертання провідного й веденого роторів забезпечується зовнішніми синхронізуючими шестернями. Гвинтові поверхні роторів і стінок корпуса утворюють робочі камери. При обертанні роторів обсяг камер збільшується, коли виступи роторів віддаляються від западин і відбувається процес усмоктування. Коли обсяг камер досягає максимуму, процес усмоктування закінчується й камери виявляються ізольованими стінками корпуса й кришками від усмоктувального й нагнітального патрубків.

При подальшім обертанні в западину веденого ротора починає впроваджуватися сполучений виступ провідного ротора. Впровадження починається в переднього торця й поступово поширюється до нагнітального вікна. З деякого моменту часу обидві гвинтові поверхні поєднуються в загальну порожнину, обсяг якої безупинно зменшується завдяки поступальному переміщенню лінії контакту сполучених елементів у напрямку

до нагнітального вікна. Подальше обертання роторів приводить до витиснення газу з порожнини в нагнітальний патрубок. Через те, що частота обертання роторів значна й одночасно існує кілька камер, компресор створює рівномірний потік газу.

Відсутність клапанів і неврівноважених механічних сил забезпечують гвинтовим компресорам високі робочі частоти обертання, тобто одержувати вищу продуктивність при порівняно невеликих зовнішніх габаритах.

На рисунку зображено поперечний розтин гвинтового компресора.



Маслозаповнені компресори допускають менші швидкості обертання, чому компресори «сухого стиску». Масло в робочу порожнину гвинтового компресора подається з метою зменшення перетічок через внутрішні зазори, змащення гвинтового зачеплення роторів і охолодження стисливого газу.

Є кілька типів гвинтових компресорів: із прямим приводом і ремінним.

1.3 Технічні характеристики холодильних компресорів типу ВК

Дані машини працюють на аміаку або фреоні-22 у складі холодильних установок, а також теплових насосів. По конструктивному пристрою холодильний компресор постачений рухливим золотником, що дозволяють плавно міняти продуктивність від 10 до 100%.

Золотник - це конструктивний елемент, поміщений у розточення корпуса між роторами, і при його переміщенні змінюється робоча довжина роторів, що дозволяє змінити продуктивність компресора й забезпечує його економічну роботу.

Холодильні компресори типу ВК виробляє вітчизняне підприємство ТОВ «Енергомаш», м. Харків. Зовнішній вигляд компресор у ВК-350-7-2 зображено на рисунку вище.

Технічні характеристики компресора наведено у табл.1.1.

Таблиця 1.1. Технічні характеристики компресору ВК-350-7-2.

Марка	Призначення і область використання	Холодопродуктивність		Габарити обладнання, мм	Вага виробу, кг	Примітки
		кВт, Ккал/час	Споживана потужність, кВт			
ВК-350-7-2	Робота в складі холодильних установок загальнопромислового виконання	378400, 444±22	35	1360x585x666	723	На аміаку

1.4 Вимоги до електроприводу турбомеханізмів

До приводу механізму компресора висувають наступні вимоги : -перевантажувальна здатність; -плавне регулювання подачі; -висока продуктивність.

Основною ланкою будь-якої системи ЕП є двигун, що забезпечує роботу виконавчого механізму відповідно до технологічних вимог при підтримці високого рівня продуктивності, енергетичних й економічних показників. У зв'язку із цим вибір приводного двигуна є досить відповідальним процесом. Двигун вибирають по наступних параметрах і показниках:

номінальній потужності й швидкості обертання;

номінальній напрузі живлення;

роду струму;

виду природної характеристики;

можливостям й особливостям відносно регулювання швидкості в різних режимах;

характеру й тривалості перехідних процесів;

конструктивному виконанню;

відповідності умовам навколишнього середовища;

Кількість запусків - не менше 2000 за період експлуатації, але не більше 250 в рік. При середньому моменті статичних опорів за час пуску, $0.3M_{ном}$, і моменту інерції механізму, який не перевищує 10% значення критичного допустимого значення момента інерції, допустима кількість запусків в рік складає не менше 500 при загальній кількості запусків за час експлуатації 10 000.

Особливу увагу слід приділяти підшипникам, оскільки вони є найбільш вразливим місцем. Нагрів підшипників невеликих насосів перевіряють на дотик(рука повинна витримувати довготривалий дотик до корпусу підшипника). В підшипниках великих насосів встановлені термометри; їх показники не повинні перевищувати 60-70° С. Потрібно також уважно слідкувати за роботою сальників. Нагрівання сальника вказує на його надмірну затяжку. Вода із сальника повинна стікати каплями. Якщо сальник пропускає надмірну кількість води, то його потрібно підтягнути.

Під час роботи компресора необхідно слідкувати за показниками всіх приладів. В багатьох випадках за показаннями приладів можна встановити причину ненормальної роботи компресора. Перед зупинкою компресорів закривають напірну засувку, після чого вимикають двигун.

1.5 Розрахунок потужності електропривода компресора

$$P = k_3 \frac{Q \cdot A}{\eta_K \cdot \eta_П}$$

де Q – подача (продуктивність) компресора, $м^3/с$;

A – робота ізотермічного стискання $1м^3$ повітря до потрібного тиску p_2.

Значення роботи стискання А знаходимо з наступної таблиці:

p_2, 10^5 Па	3	4	5	6	7	8	9	10
А, 10^{-3} Дж/м³	132	164	190	213	230	245	260	272

η_K- індикаторний ККД компресора, рівний 0,6-0,8; $\eta_П$ - ККД передачі, дорівнює 0,9-0,95; $k_З$- коефіцієнт запасу, що дорівнює 1,05-1,15.

Підставляючи числові значення з характеристик компресора отримаємо:

$$P = 1.1 \cdot (80 \cdot 245)/(0.7 \cdot 0.95) = 32421.05 \ Вт$$

Розрахункова потужність збігається з паспортними даними компресора.

За розрахованою потужністю обираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу А3-315S-2У3.

Паспортні дані електродвигуна наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Паспортні дані електродвигуна АЗ-315S-2У3.

Найменування параметра	Величина й розмірність
Номінальна потужність, Рн	35 кВт
Синхронна частота обертання ротора, ω0	3000 об/хв
Номінальна частота обертання ротора, ωн	2965 об/хв
Номінальна живляча напруга, Uн	380 В
Номінальна частота живлячого напруги, fн	50 Гц
Номінальний струм статора, I1н	63 А
Момент інерції двигуна, Jдв	0,159 кг м^2
Номінальний КПД, ŋ	0,94
Номінальний коефіцієнт потужності, cosφ	0,9
Іп/Ін	6
Мп/Мн	1
Мкр/Мн	2,1

1.6 Вибір перетворювача частоти

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти живлячого напруги випливає з формули ω – 2πf (1-s)/p. При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди напруги джерела, що випливає з вираження UI ≈ EI – кФf$_1$. Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися назад пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зростає, і це приведе до насичення стали машини і як наслідок до різкого збільшення струму й перевищенню температури двигуна; при збільшенні частоти потік буде зменшуватися й, як наслідок буде зменшуватися припустимий момент.

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу одночасно у функції частоти й навантаження, що реалізоване тільки в замкнених системах

електропривода. У розімкнутих системах напруга регулюється лише у функції частоти за деяким законом, що залежить від виду навантаження.

Із усіх можливих способів регулювання цей спосіб дозволяє плавно змінювати кутову швидкість у найбільш широкому діапазоні (до 10:1, а іноді й більш). Для його здійснення потрібно, щоб двигун (або група двигунів) одержував харчування від окремого джерела. У якості такого джерела можуть бути використані електромеханічні або статичні перетворювачі частоти, У зв'язку з розвитком напівпровідникової техніки в цей час найбільш кращими є напівпровідникові статичні перетворювачі фірми АВВ.

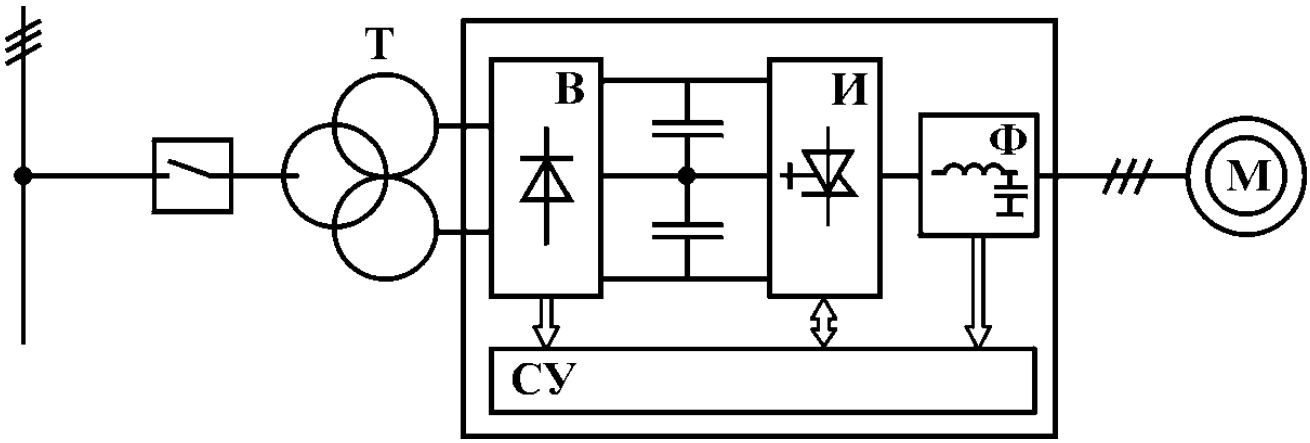


Рисунок 1.1 - Структурна схема перетворювача частоти

Т - живлячий трансформатор; В – випрямляч; И - автономний інвертор з ШІМ; Ф – силовий фільтр; СУ – система керування.; М - асинхронний двигун.

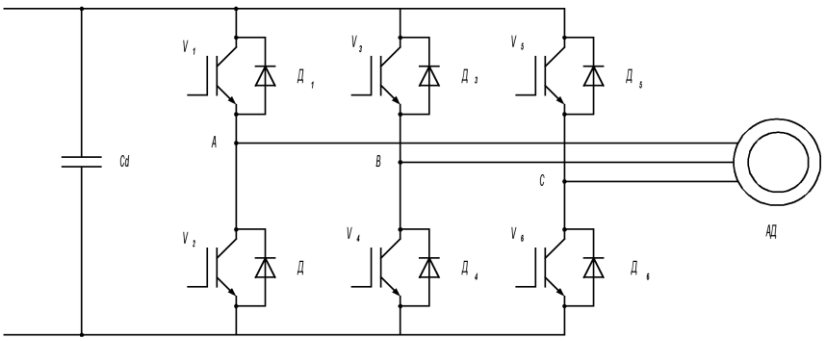


Рисунок 1.2 - Принципова схема інвертора ПЧ-АД

Вибір перетворювача частоти робимо виходячи з умов:

$$I_{\text{вих ПЧ}} \geq I_{1\text{Н}}$$

$$U_{\text{вих ПЧ}} \geq U_{1H}$$

Цим умовам задовольняє перетворювач частоти ACS 604-0210-3.

Компактні перетворювачі частоти ABB серії ACS перекривають діапазон потужностей 0,55 кВт - 1,5 Мвт для трифазних напруг 200/400/500/690 В. Перетворювачі частоти ABB задовольняють самим твердим вимогам директив по електромагнітній сумісності, установлених ЄС. Висока завадостійкість і невелике випромінювання електромагнітних перешкод досягнуті за рахунок спеціальної оболонки, вбудованого дроселя змінного струму, фільтра радіочастотних перешкод, а також інших технічних рішень.

Вхідний дросель знижує також рівень вищих гармонік, генеруємих перетворювачем частоти в живильну мережу. Сучасна технологія векторного керування без датчиків зворотного зв'язку по швидкості, швидкодіючий інтегроване коло керування, а також безпосередній вимір струму в трьох фазах гарантують якісне керування електродвигуном і адаптуємість перетворювача частоти навіть до самих складних умов застосування. З іншого боку, завдяки докладний документації, зручній панелі керування й спеціалізованим програмним продуктам для персонального комп'ютера робота з перетворювачами частоти ABB у всіх випадках не створює складностей.

- Перетворювачі частоти ABB орієнтовані на світовий ринок. Вони виготовляються відповідно до європейських норм, фахівців з високою кваліфікацією й багатим виробничим досвідом.
- Висока якість забезпечує вибором кращих технічних розв'язків і комплектуючих.
- Кожний перетворювач частоти зазнає вихідному контролю й випробуванням у граничних умовах експлуатації.
- До кожного перетворювача частоти додається акт випробувань.

• Перетворювача мають різноманітні функції.

• Передбачається блокування параметрів, що підвищує безпека виробу під час експлуатації.

• Розрахунковий термін служби перетворювача частоти - більш 500 000 годин.

Термін служби в граничних умовах експлуатації (100% навантаження, максимальна температура навколишнього середовища, безперервна робота в плині 24 годин повний тиждень) становить 50.000 годин.

Перетворювачі частоти ABB мають малі габарити й легко вбудовується в різні системи.

Побудовані по блочно-модульному принципу макропрограми полегшують уведення в експлуатацію перетворювача частоти на різних об'єктах. Крім базової макропрограми в розпорядженні користувача є:

• Стандартна макропрограма.

• Макропрограма "Місцеве / дистанційне керування".

• Макропрограма з набором фіксованих швидкостей.

• Макропрограма з Пі-регулюванням.

• Універсальна макропрограма.

• Макропрограма керування насосами й вентиляторами (з функцією вирівнювання моторесурсу агрегатів).

Перетворювачі частоти ABB відрізняються великою простотою в експлуатації.

• Докладні керівництва російською мовою, а також більш чим на 20 мовах.

• Завдяки макропрограмам кількість параметрів настроювання зведене до мінімуму.

• Спеціалізовані програмні продукти й керівництва можна одержувати з Інтернету.

• Прості в експлуатації панелі керування (стандартні, буквено-цифрові, графічні).

• Попередня установка основних параметрів: досить увести в перетворювач частоти дані двигуна, зазначені в заводській бирці; решта ABB зробить сам.

• Зручні приєднання кіл вводу-виводу, рознімні клемні колодки.

• Вихід RS232C для персонального комп'ютера.

• Мережеві адаптери для всіх локальних промислових мереж.

Усі ці переваги роблять перетворювач частоти ABB зручним і надійним в експлуатації, що й надають необмежені можливості в регулюванні швидкості різних виробничих механізмів, у нашім випадку, гвинтового компресора.

Основні параметри обладнання ACS 604-0210-3 наведені в табл. 1.3.

Табл. 1.3. Параметри перетворювача частоти ACS 604-0210-3

Звичайне використання				Використання у важкому режимі						Типо-розмір шасі
Робочий цикл 1/5 хв				Робочий цикл 1/5 хв		Робочий цикл 2/15 з				
I2N 4/5хв [А]	I2Nmax 1/5хв [А]	SN [ква]	PN [квт]	I2hd 4/5хв [А]	I2hdmax 1/5хв [А]	I2hd 13/15з [А]	I2hdmax 2/15з [А]	Shd [ква]	Phd [квт]	
316	348	210	160	260	390	260	520	170	132	R8

У межах одного діапазону напруги зазначена значення струмів залишаються незмінними не залежно від напруги харчування. Для забезпечення номінальної потужності електродвигуна, зазначеної в даній таблиці, номінальний струм перетворювача ACx60x повинен бути більше або дорівнює номінальному струму електродвигуна.

Примітка 1. Максимально припустима потужність на валу електродвигуна обмежена значенням 1,5 · Phd. У випадку перевищення цієї межі автоматично обмежуються крутний момент електродвигуна u 2/ 15-секундний струм I_{2hdmax}. Дана функція захищає від перевантаження вхідний міст перетворювача ACS 600.

Примітка 2. Навантажувальна здатність перетворювача (по струму й потужності) знижується при установці на висоті більш 1000 м над рівнем моря або, якщо температура навколишнього повітря перевищує 40 °С (або 35 °С для агрегатів АСх 60х-0120-03 і АСх 60х-0140-05, використовуваних для привода насосів і вентиляторів).

Примітка 3. Наведені характеристики не ставляться до випадку використання перетворювачів для привода насосів і вентиляторів при наявності фільтрів du/dt. Фільтри du/dt звичайно встановлюються на виході перетворювачів, розрахованих на напруги від 525 до 690 У и призначених для харчування електродвигунів із всипною обмоткою. Для електродвигунів із шаблоновою обмоткою такі фільтри, як правило, непотрібні.

Звичайне використання (перевантажувальна здатність 10%):

I_{2N} – номінальний вихідний струм (ефективне значення);

$I_{2N\ max}$ – струм перевантаження (ефективне значення, допускається протягом 1 хв із періодом 5 хв);

S_N – номінальна гадана вихідна потужність;

P_N – типова потужність електродвигуна.

Використання у важкому режимі (перевантажувальна здатність 50 або 100%):

I_{2hd} – номінальний вихідний струм (ефективне значення);

I_{2hdmax} – струм перевантаження (ефективне значення, допускається протягом 1 хв із періодом 5 хв або в плині 2із із періодом 15с);

Shd – номінальна гадана вихідна потужність;

P_{hd} – типова потужність електродвигуна.

Підключення до електромережі.

Напруга (U_1): трифазна напруга 380/400/415В ±10%

Стійкість до короткого замикання:

Номінальний короткочасний струм, що витримується перетворювачем Асх 600 протягом 1 с, становить 50 кА.

Вимір характеристик перетворювачів (до 400 кВа) виконується у відповідності зі стандартами США й застосовні при живленні від мережі, здатної подавати симетричний струм не більш 65 кА при напрузі не більш 480 В (агрегати на 500 В) і при напрузі не більш 600 В (агрегати на 690 В).

Частота: від 48 до 63 Гц, максимальна швидкість зміни 17%/с

Асиметрія: Не більш ± 3 % від номінальні міжфазної вхідної напруги.

Основний коефіцієнт потужності (cos φ): 0,97 (при номінальному навантаженні)

Підключення електродвигуна.

Напруга (U2): від 0 до U1, трифазне симетричне/

Частота: режим DTC (пряме керування крутним моментом): від 0 до 3,2 · f_{FWP}; Максимальна частота 300 Гц.

$f_{fwp} = (UN_{\text{мережі}} / UN_{\text{двигуна}}) \cdot fn_{\text{двигуна}}$

де: f_{fwp} - частота в крапці ослаблення поля;

$UN_{\text{мережі}}$ - напруга мережі (вхідне харчування);

$UN_{\text{двигуна}}$ - номінальна напруга електродвигуна;

$f_{N\ \text{двигуна}}$ - номінальна частота електродвигуна.

Режим скалярного керування: від 0 до 300 Гц

З фільтром du/dt (режими DTC і скалярного керування): від 10 до 120 Гц

Дискретність керування частотою: 0,01 Гц

Гранична потужність: 1,5 · P_{hd}

Струм відключення при перевантаженні: 3,5 · I_{2hd}

Крапка ослаблення поля: від 8 до 300 Гц

Частота комутації: 3 кГц (середня)

Рекомендована максимальна довжина кабелю електродвигуна: 300 м.

Підшипники електродвигунів потужністю понад 90 кВт: на стороні, протилежної приєднаному встаткуванню, рекомендується застосовувати ізольовані підшипники.

Коефіцієнт корисної дії й спосіб охолодження

Коефіцієнт корисної дії: приблизно 98 % при номінальному рівні потужності

Спосіб охолодження: внутрішній вентилятор з напрямком потоку знизу нагору.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розглянуто переваги використання гвинтових компресорів, наведено технічні та конструктивні особливості гвинтового компресора ВХ-350-7-2, наведено технічна характеристика гвинтового компресора ВХ-350-7-2. Виконано розрахунок потужності електроприводу гвинтового компресора ВХ-350-7-2. У якості приводного двигуна обрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу А3-315S-2Y3 потужністю 35 кВт, частота обертання 3000 об/хв. Виконано розрахунок потужності перетворювача частоти, обрано пристрій типу ACS 604-0210-3 виробництва компанії ABB.

Розділ 2 РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ВХ-350-7-2

2.1 Визначення параметрів Т-подібної схеми заміщення АД

Для розрахунків електромеханічних характеристик АД потрібно за паспортними даними двигуна знайти параметри Т-подібної схеми заміщення АД, рис.2.1. Для спрощення розрахунків допустимо знехтувати активним опором контуру намагнічування.

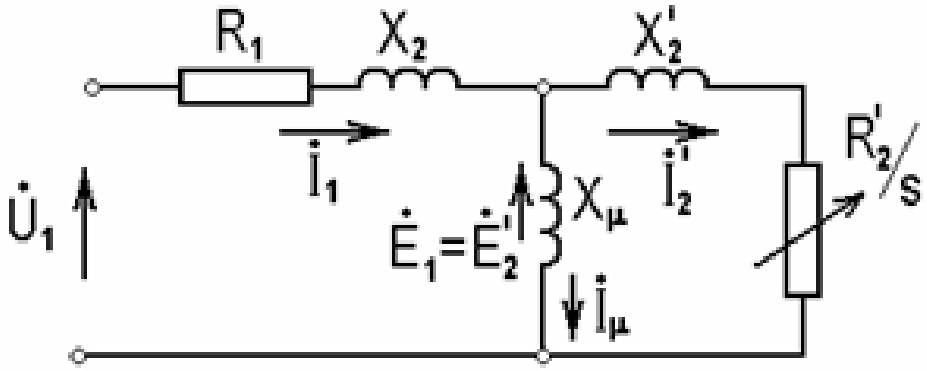


Рисунок 2.1 - Т-подібна схема заміщення АД.

Розраховуємо за допомогою програми MATHCAD:

Номінальну кутову швидкість:

$$\omega_{ном} = n_{ном} \cdot \frac{\pi}{30} = 310{,}48 \text{ об/хв.}$$

Кутову швидкість холостого ходу:

$$\omega_0 = n_0 \cdot \frac{\pi}{30} = 314{,}15 \text{ об/хв.}$$

Номінальне сковзання:

$$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{ном}}}{\omega_0} = 0{,}0167$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_{ном} = 1000 \cdot \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = 112{,}73 \text{ н} \cdot \text{м}$$

Критичне ковзання для рухового режиму:

$$S_k = S_H\left(\lambda_m + \sqrt[2]{\lambda_m^2 - 1}\right) = 0.069$$

За кратністю пускового струму знаходимо повний опір двигуна при непорушному роторі (S=l):

$$Z_{k1} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{3} k_i I_{1H}} = \frac{220}{\sqrt{3}\cdot 6\cdot 63} = 0.3364 \text{ Ом}$$

Приймаємо для двигуна значення коефіцієнта насичення магнітного кола C_1=1.04 і механічні втрати, дорівнюють 1% від $P_{ном}$, тобто:

$\Delta P_{МЕХ} = 0{,}01 \cdot P_H = 0{,}01 \cdot 35 = 0{,}35$ кВт

За кратністю пускового моменту λ_m визначаємо активний опір ротора при S=l:

$$R_2' = \frac{(P_H + \Delta P_{мех})\cdot \lambda_П}{3(1 - S_н)\cdot k_i^2 \cdot I_{1н}^2} = \frac{(35000 + 350)\cdot 1}{3\cdot(1 - 0{,}0167)\cdot 36\cdot 63\cdot 63} = 0{,}0838 \text{ Ом}$$

Активний опір статора можна визначити за виразом:

$$R_1 = \frac{U_{1н}^2(1 - S_н)}{2c_1(P_H + \Delta P_{мех})\cdot \lambda_П \cdot \left(1 + \frac{c_1}{S_k}\right)} = \frac{220\cdot 220(1 - 0.0167)}{2\cdot 1.02\cdot(35000 + 350)\cdot 1\cdot \left(1 + \frac{1.02}{0.069}\right)}$$

$$R_1 = 0.0418 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір статора і ротора при S = 1 без урахування намагнічуючого струму:

$$X_K = \sqrt{\left(\frac{R_2'}{S_K}\right)^2 - R_1^2} = \sqrt{\left(\frac{0.0838}{0.069}\right)^2 - 0.0418^2} = 1.214 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1 = \frac{X_K}{2} = 0.607 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2' = \frac{X_1}{c_1} = \frac{0.607}{1.02} = 0.595 \text{ Ом}$$

Індуктивність розсіювання ротора:

$$L_\text{р} = \frac{X_2'}{2\pi f} = \frac{0.595}{314.15} = 0.0019 \text{ Гн}$$

Індуктивність розсіювання статора:

$$L_s = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{0.607}{314.15} = 0.00193 \text{ Гн}$$

Струм контуру намагнічування

$$I_{\mu\text{н}} = I_{1\text{н}}\left(\sin\varphi_\text{н} - \frac{S_\text{н}\cdot\cos\varphi_\text{н}}{S_K}\right) = 63\left(0.436 - \frac{0.0167\cdot 0.9}{0.069}\right) = 13.74\ A$$

Індуктивний опір контуру намагнічування:

$$X_\mu = \frac{U_{1\text{ф}}}{I_{\mu\text{н}}} = \frac{220}{13.74} = 13.01 \text{ Ом}$$

Індуктивність контуру намагнічування:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2\pi f} = \frac{13.01}{314.15} = 0.0509 \text{ Гн}$$

За паспортними даними можна оцінити номінальні втрати двигуна, якщо відоме ККД при номінальному навантаженні і опір обмоток.

Додаткові втрати в статорі:

$$\Delta P_\text{Д} = 0.005 P_\text{Н} = 0.005\cdot 35000 = 175 \text{ Вт}$$

Втрати в обмотках статора і додаткові втраті:

$$\Delta P_\text{Д} = 0.005 P_\text{Н} = 0.005\cdot 35000 = 175 \text{ Вт}$$

Втрати в роторі:

$$\Delta P_{2\text{Н}} = \frac{(P_H + \Delta P_\text{мех})S_\text{н}}{1 - S_\text{н}} = \frac{(35000 + 350)\cdot 0.0167}{1 - 0.0167} = 600.37 \text{ Вт}$$

Сумарні втрати двигуна:

$$\Sigma\Delta P_H = \frac{P_H(1 - \eta_H)}{\eta_H} = \frac{35000(1 - 0.94)}{0.94} = 2234.04 \text{ Вт}$$

Втрати в сталі статора:

$$\Delta P_{1\text{СТ}} = \Sigma \Delta P_H - (\Delta P_{1\text{Н}} + \Delta P_{2\text{Н}} + \Delta P_{\text{мех}}) = 610{,}78 \text{ Вт}$$

2.2 Розрахунок природних характеристик електродвигуна гвинтового компресора

Для розрахунку необхідних характеристик асинхронного електродвигуна скористаємося символьним методом комплексним методом розрахунку кіл змінного струму.

Комплексний опір ротора

$$Z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$$

Комплексний опір кола намагнічування

$$Z_\mu = j \cdot x_\mu$$

Комплексний опір роторного кола схеми заміщення

$$Z_{20}(s) = \frac{Z_2(s) \cdot Z_\mu}{Z_2(s) + Z_\mu}$$

Комплексний опір кола статора

$$Z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$$

Повний комплексний опір схеми заміщення

$$Z_0(s) = Z_1(s) + Z_2(s)$$

Струм статора АД

$$I_1(s) = \frac{U_1}{Z_0(s)}$$

Напруга на затисках роторного кола

$$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot Z_1(s)$$

Струм ротора АД

$$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{Z_2(s)}$$

Електромагнітний момент АД

$$M_{\text{эм}}(s) = 3 \cdot (|I_2(s)|)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$$

Активна та реактивна потужності, споживані АД з мережі :

$$P_{АД}(s) = 3 \cdot \boldsymbol{Re}\left(U_1 \cdot \widehat{I_1}(s)\right); Q_{АД}(s) = 3 \cdot \boldsymbol{Im}\left(U_1 \cdot \widehat{I_1}(s)\right)$$

Коефіцієнт корисної дії АД:

$$\eta(s) = \frac{M_{эм}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{АД}(s)}$$

Коефіцієнт потужності АД:

$$k_m(s) = cos\left(arg\left(Z_0(s)\right)\right)$$

Розрахунки по приведених вище формулах були виконані за допомогою сценарію MATLAB. Результати розрахунків швидкісних, електромеханічних і енергетичних характеристик електродвигуна гвинтового компресора приведені нижче на рис.2.2 – 2.8.

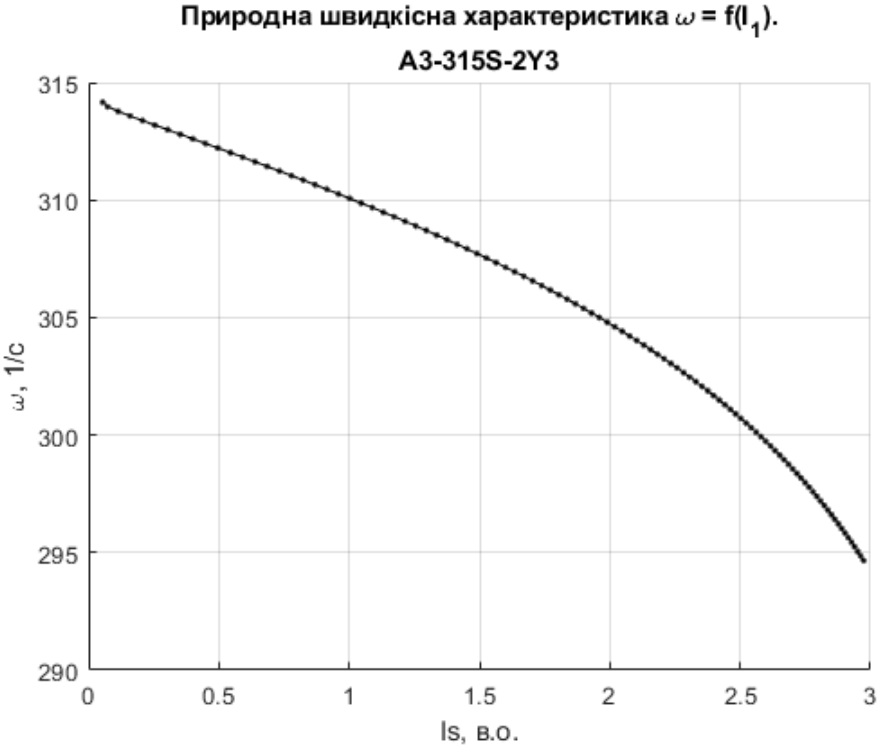


Рисунок 2.2 – Природна швидкісна характеристика двигуна гвинтового компресора за струмом статора

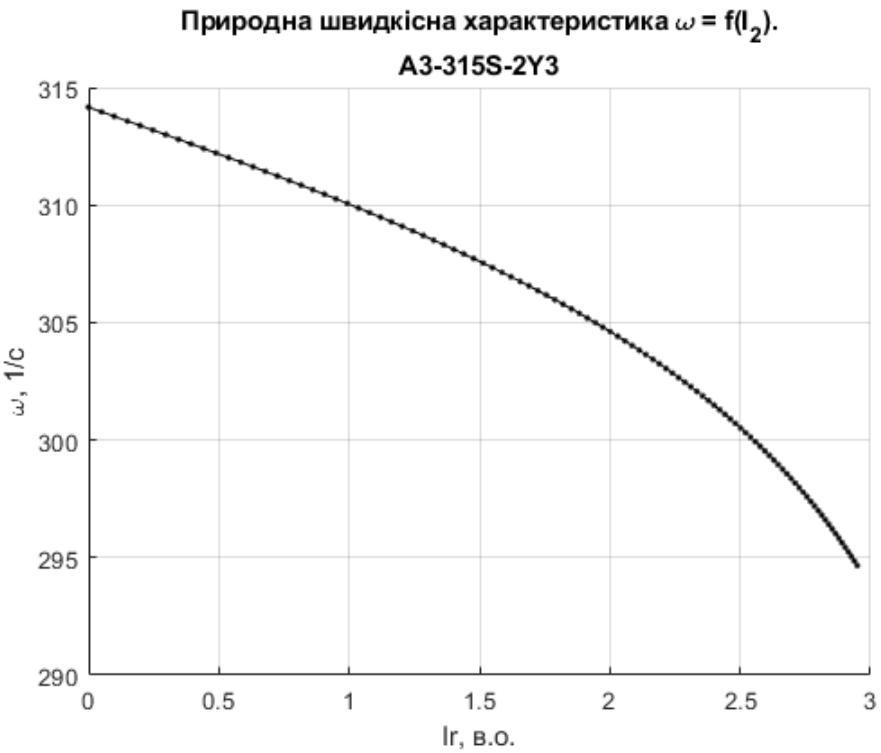


Рисунок 2.3 – Природна швидкісна характеристика двигуна гвинтового компресора за струмом ротора

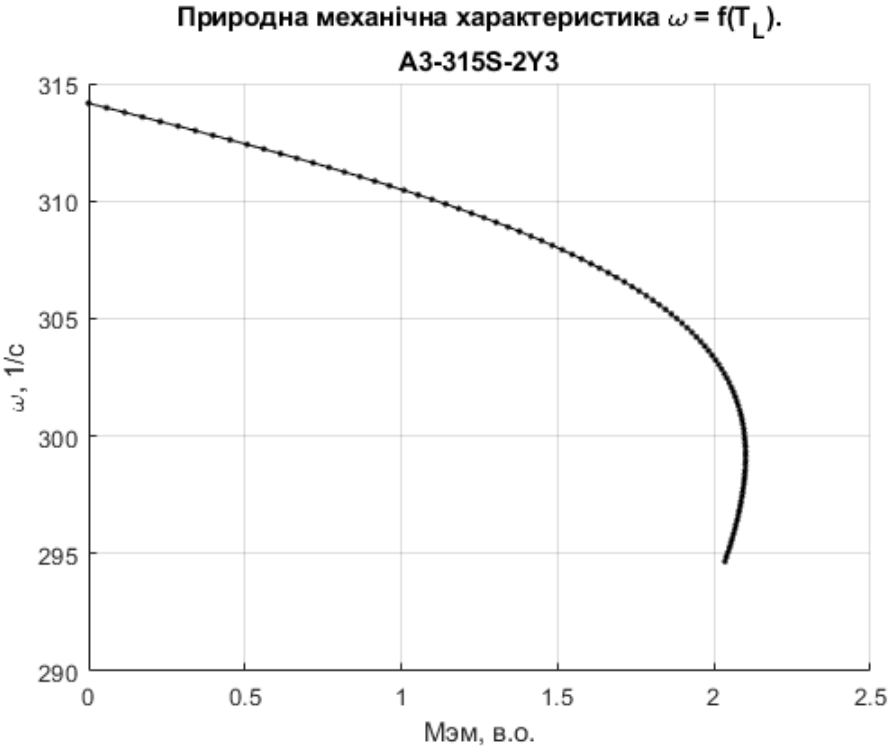


Рисунок 2.4 – Природна механічна характеристика двигуна гвинтового компресора

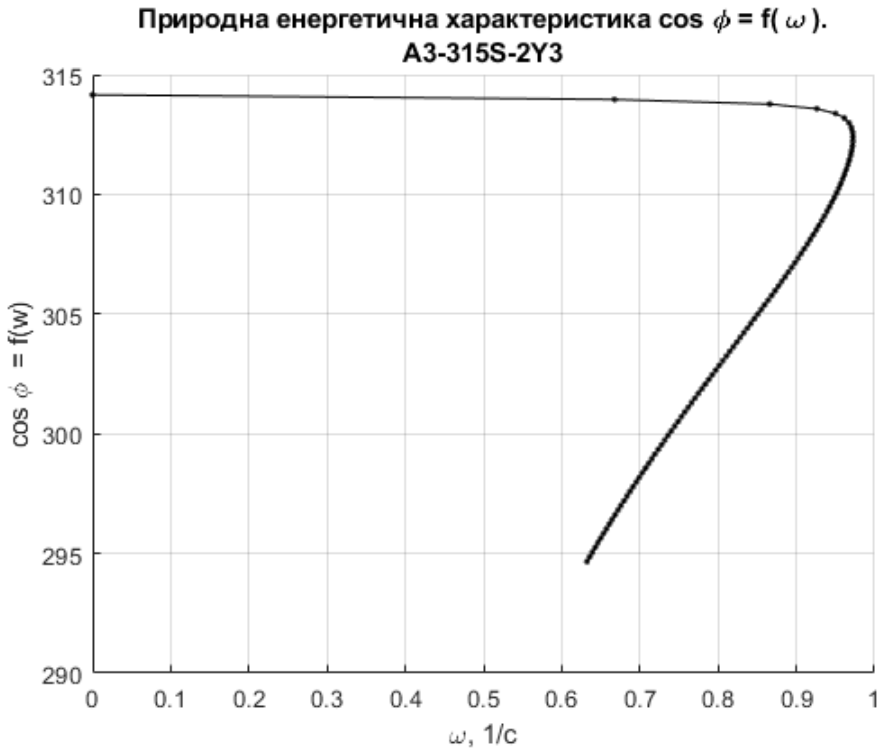


Рисунок 2.5 – Природна енергетична характеристика двигуна гвинтового компресора за коефіцієнтом потужності

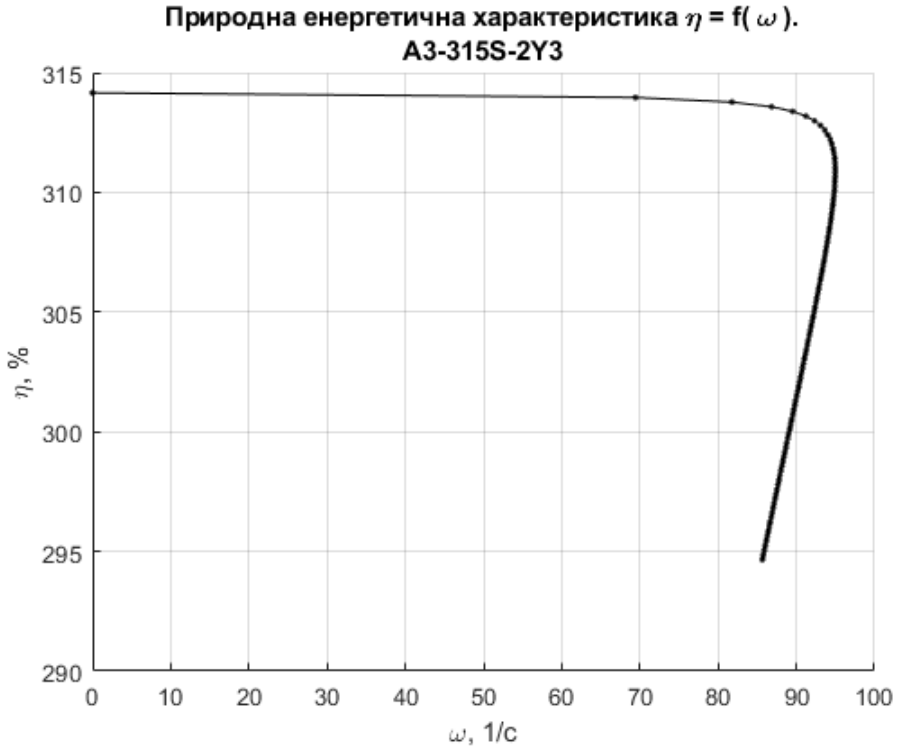


Рисунок 2.6 – Природна енергетична характеристика двигуна гвинтового компресора за ККД

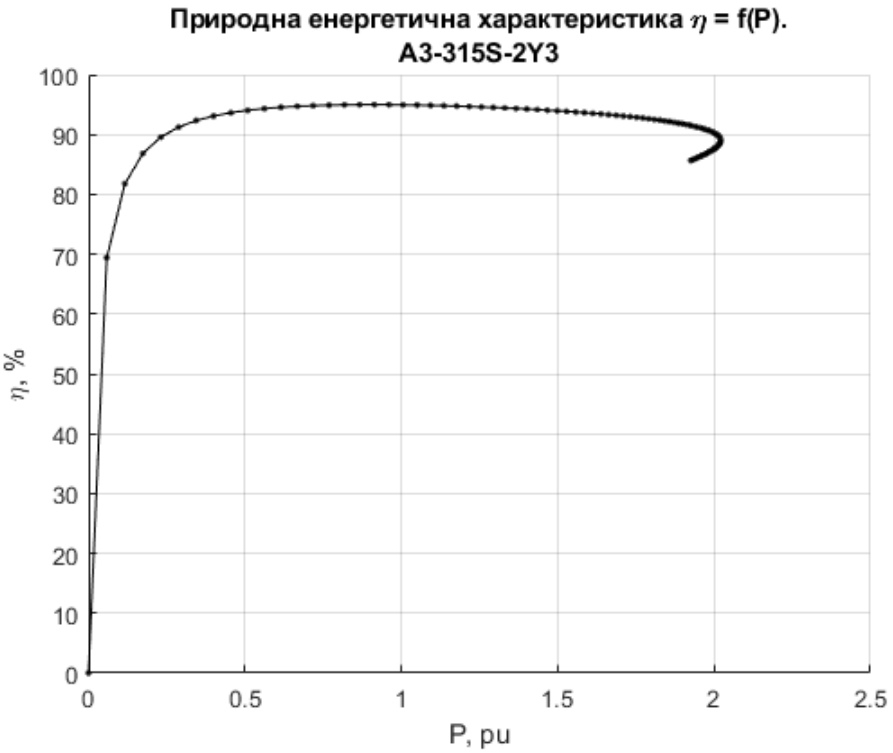


Рисунок 2.7 – Природна енергетична характеристика двигуна гвинтового компресора за ККД

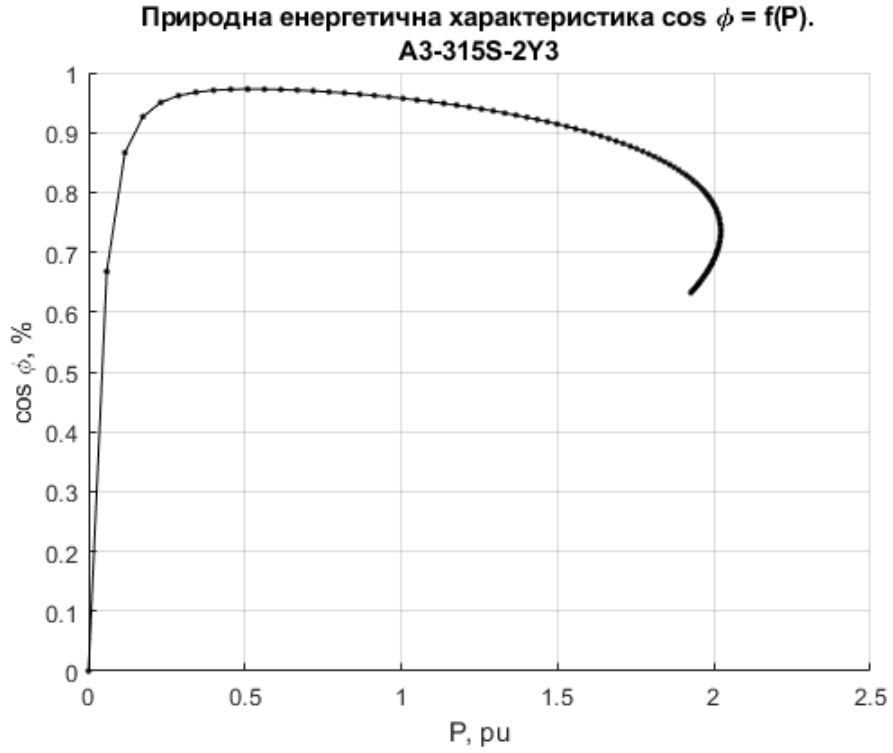


Рисунок 2.8 – Природна енергетична характеристика двигуна гвинтового компресора за коефіцієнтом потужності

2.3 Розрахунок штучних характеристик частотно-керованого електроприводу гвинтового компресора

При частотному керуванні слід враховувати, що індуктивні опори асинхронного двигуна також будуть змінюватися. Індуктивні опори асинхронного двигуна при частоті живлячої мережі f Гц можна обчислити по відомим значенням опорів при частоті живлячої мережі 50 Гц за формулою:

$$X_f = X_{50} \cdot \frac{f}{50}$$

Також при розрахунках характеристик електропривода у розімкненій системі керування необхідно враховувати взаємопов'язане керування напруги та частоти за законом Костенко. При заданій частоті живлячої мережі f Гц діюче значення фазної напруги складатиме

$$U = 0.088 \cdot f^2 \text{ В}$$

Для розрахунку штучних характеристик асинхронного електродвигуна скористаємося символьним методом комплексним методом розрахунку кіл змінного струму.

Комплексний опір ротора

$$Z_2(s) = \frac{r_2}{s} + j \cdot x_2$$

Комплексний опір кола намагнічування

$$Z_\mu = j \cdot x_\mu$$

Комплексний опір роторного кола схеми заміщення

$$Z_{20}(s) = \frac{Z_2(s) \cdot Z_\mu}{Z_2(s) + Z_\mu}$$

Комплексний опір кола статора

$$Z_1(s) = r_1 + j \cdot x_1$$

Повний комплексний опір схеми заміщення

$$Z_0(s) = Z_1(s) + Z_2(s)$$

Струм статора АД

$$I_1(s) = \frac{U_1}{Z_0(s)}$$

Напруга на затискачах роторного кола

$$E_{20}(s) = U - I_1(s) \cdot Z_1(s)$$

Струм ротора АД

$$I_2(s) = \frac{E_{20}(s)}{Z_2(s)}$$

Електромагнітний момент АД

$$M_{\text{эм}}(s) = 3 \cdot (|I_2(s)|)^2 \cdot \frac{r_2}{\omega_0 \cdot s}$$

Активна та реактивна потужності, споживані АД з мережі :

$$P_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \boldsymbol{Re}\left(U_1 \cdot \widehat{I_1}(s)\right); Q_{\text{АД}}(s) = 3 \cdot \boldsymbol{Im}\left(U_1 \cdot \widehat{I_1}(s)\right)$$

Коефіцієнт корисної дії АД:

$$\eta(s) = \frac{M_{\text{эм}}(s) \cdot \omega_0 \cdot (1 - s)}{P_{\text{АД}}(s)}$$

Коефіцієнт потужності АД:

$$k_m(s) = cos\left(arg\left(Z_0(s)\right)\right)$$

Розрахунки по приведених вище формулах були виконані за допомогою програми MATLAB. Результати розрахунків статичних і енергетичних характеристик електродвигуна приведені нижче на рис.2.9 – 2.12.

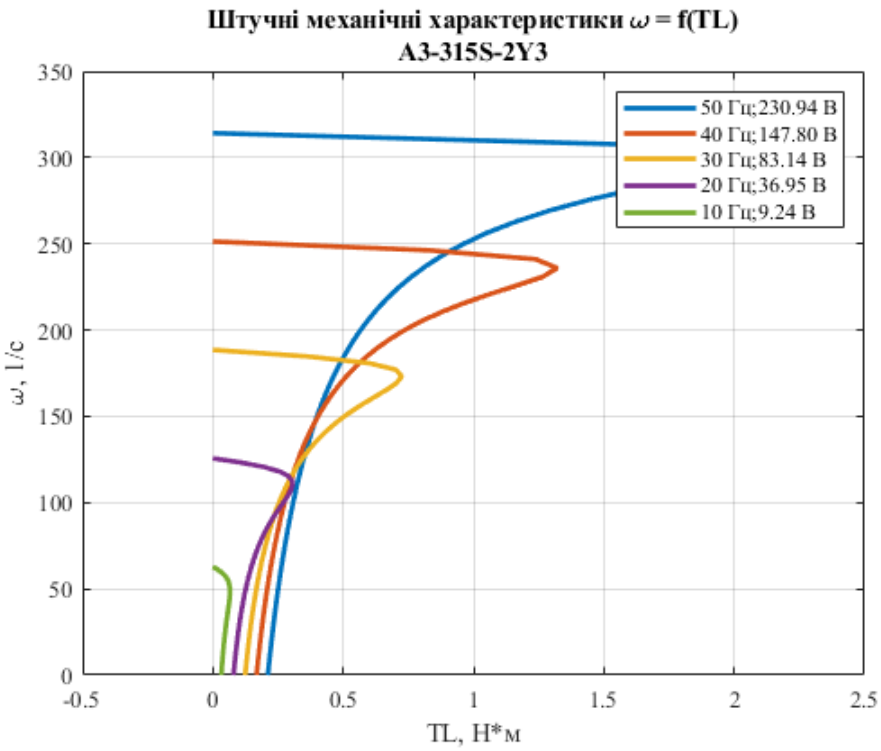


Рисунок 2.9 – Штучні механічні характеристики АД при частотному регулюванні. Частота живлячої напруги – 50, 40, 30, 20, 10 Гц

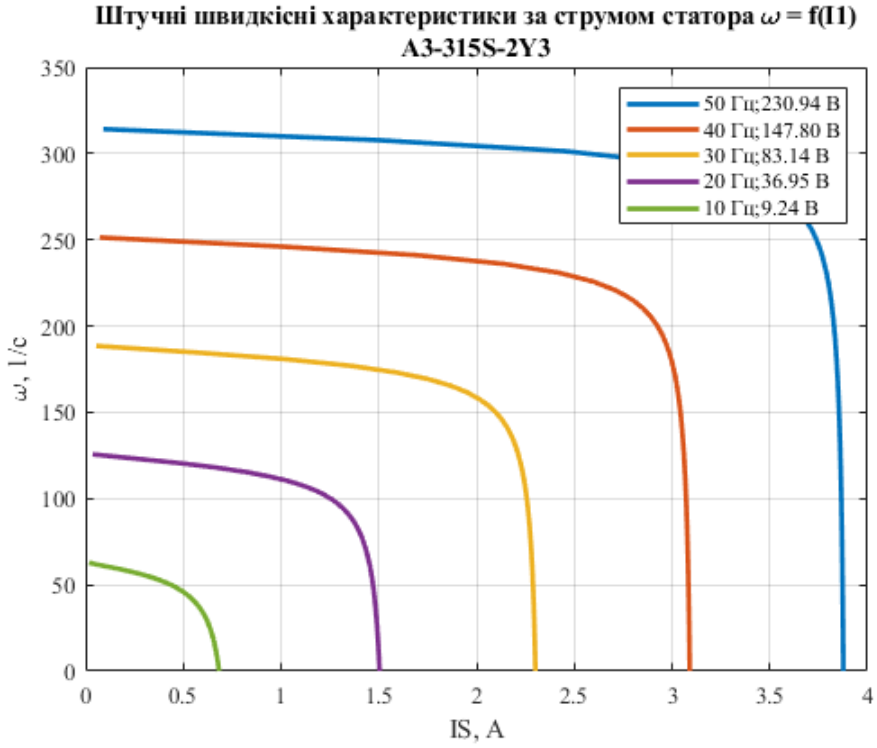


Рисунок 2.10 - Штучні швидкісні характеристики АД по струму статора при частотному регулюванні. Частота живлячої напруги – 50, 40, 30, 20, 10 Гц

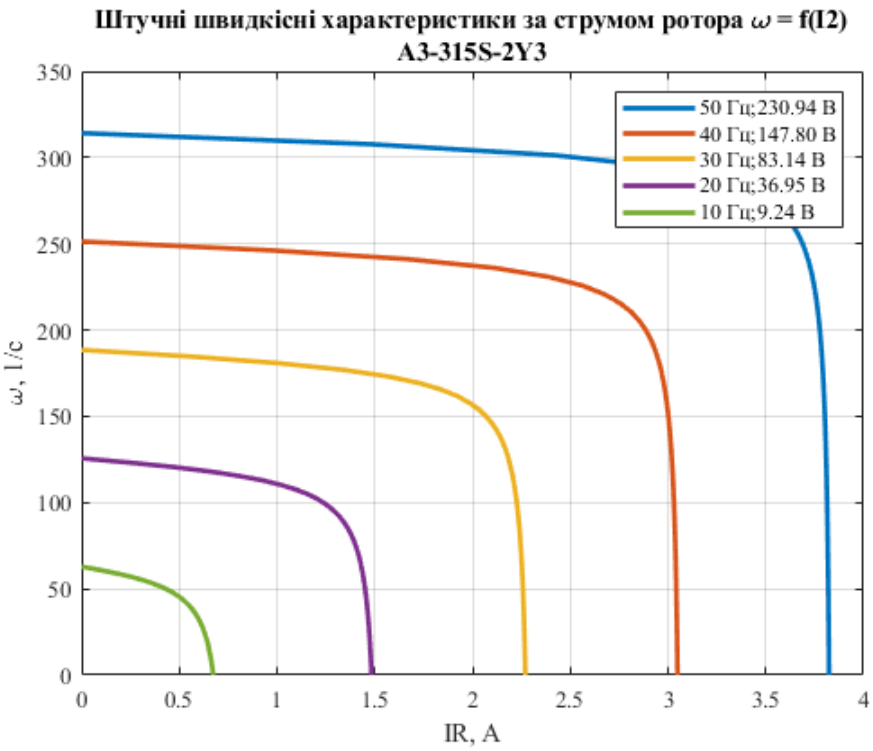


Рисунок 2.11 - Штучні швидкісні характеристики АД по струму ротора при частотному регулюванні. Частота живлячої напруги – 50, 40, 30, 20, 10 Гц

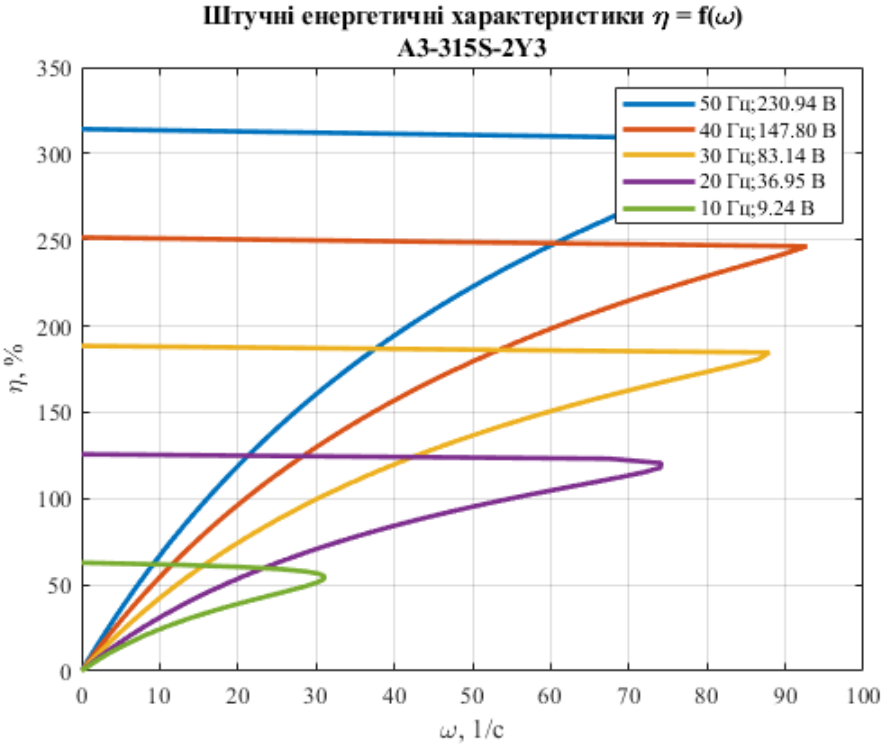


Рисунок 2.12 - Штучні енергетичні характеристики АД при частотному регулюванні. Частота живлячої напруги – 50, 40, 30, 20, 10 Гц

2.4 Математичне моделювання прямого пуску асинхронного двигуна у MATLAB/Simulink

Математична модель асинхронного двигуна з урахування вентиляторного характеру моменту опору з використанням елементів бібліотеки SimPower наведена на рис.2.13.

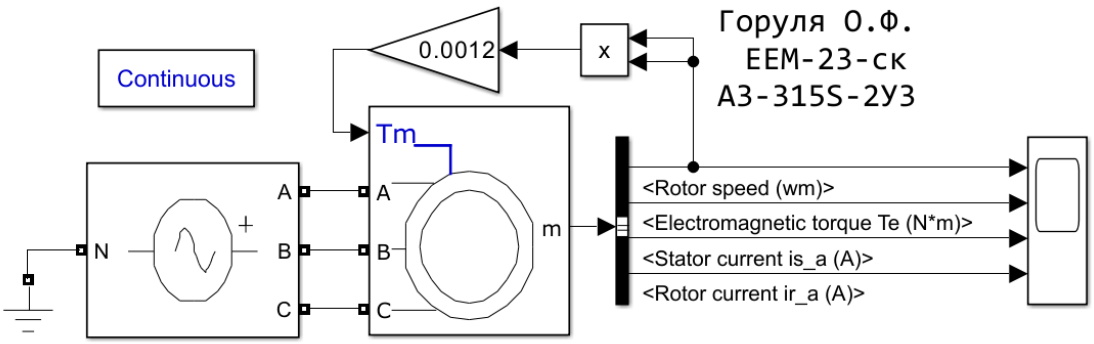


Рисунок 2.13 - Математична модель асинхронного двигуна гвинтового компресора з урахуванням вентиляторного характеру моменту опору

Отримані результати розрахунків прямого пуску двигуна гвинтового компресора наведено на рис.2.14.

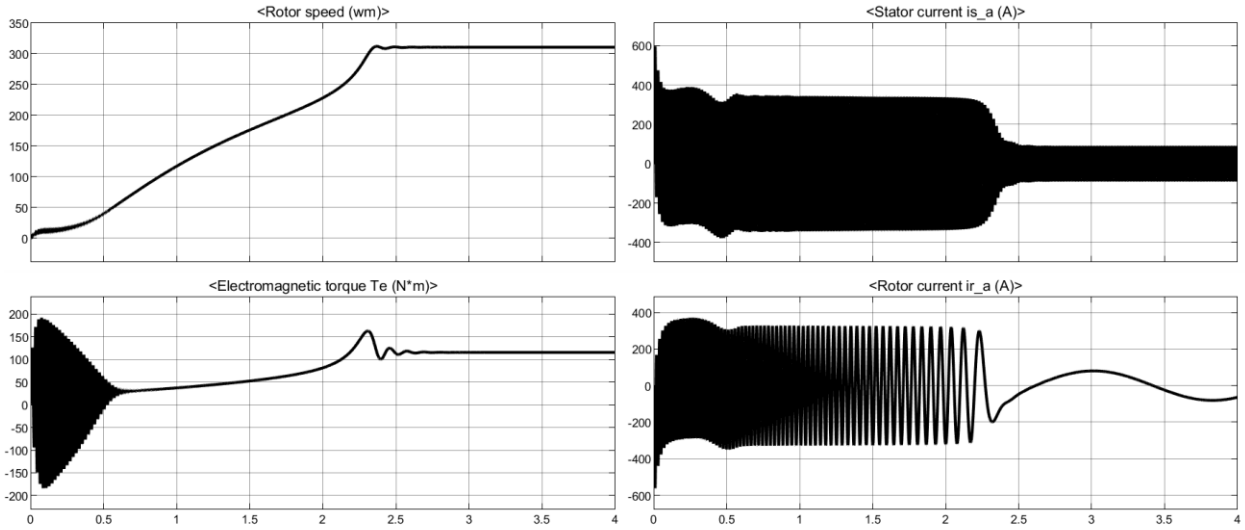


Рисунок 2.14 – Прямий пуск електроприводу гвинтового компресора з вентиляторним моментом опору

Висновки до розділу 2

У другому розділі для приводного асинхронного двигуна гвинтової компресорної установки ВХ-350-7-2 наведено Т-подібну схему заміщення, виконано розрахунки її параметрів. Для асинхронного двигуна виконано розрахунок природних швидкісних, електромеханічних та енергетичних характеристик електроприводу у розімкненій системі керування.

З використанням MATLAB/Simulink та бібліотеки SimPower створено симуляційну модель приводного асинхронного двигуна гвинтового компресора, виконано розрахунок процесу прямого асинхронного пуску з урахуванням вентиляторного характеру моменту опору.

Розділ 3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Електроспоживачі поділяються на три основні категорії.

До електроспоживачів І категорії належать об’єкти, перерва в електропостачанні яких може призвести до небезпеки для життя людей, значних економічних збитків, пошкодження дорогого обладнання, порушення складних технологічних процесів або виходу з ладу критично важливих систем комунального господарства.

У складі І категорії також виділяють особливу групу споживачів, безперебійне живлення яких необхідне для безаварійної зупинки виробничих процесів. Це потрібно для запобігання аваріям, вибухам, пожежам та пошкодженню дорогого обладнання.

До електроспоживачів ІІ категорії відносять об’єкти, для яких перерва в електропостачанні спричиняє значні втрати виробництва, масові простої персоналу, машин і транспорту, а також порушення нормального функціонування великої кількості споживачів у міській та сільській місцевості.

Електроспоживачі ІІІ категорії включають усі інші об’єкти, які не віднесені до першої та другої категорій.

Споживачі І та ІІ категорій повинні забезпечуватися електроенергією щонайменше від двох незалежних джерел живлення.

Питання, що розглядаються у проєкті електропостачання промислового підприємства, умовно поділяються на кілька основних груп.

У першу групу входять: визначання величини і категорій електричних навантажень, вибір напруги, вибір трансформаторів, схеми живлення і розподілу електричної енергії, конструктивного виконання підстанції, компенсація реактивної потужності.

До другої групи відносяться питання розрахунку струмів короткого замикання, захисту і автоматики, обліку і вимірювань.

3.1 Розрахунок електричних навантажень

Електричні навантаження будемо розраховувати методом впорядкованих діаграм. Цей метод є основним при розробці технічних і робочих проектів електропостачання. За цим методом розрахункове максимальне навантаження групи електроприймачів:

$$P_{макс.} = K_{макс.} \cdot K_{и} \cdot P_{ном.}$$

де $K_{макс.}$ – коефіцієнт максимуму

$K_{и}$ – коефіцієнт використання

$P_{ном.}$ – номінальна групова потужність електроприймачів (за виключенням резервних)

Для групи електроприймачів одного режиму роботи середні активне та реактивне навантаження за найбільш завантажену зміну визначаються за формулами:

$$P_{см.} = K_{и} \cdot P_{ном.}$$

$$Q_{см.} = P_{см.} \cdot \tan\varphi$$

де $\tan\varphi$ – коефіцієнт реактивної потужності (відповідає середньозваженому $\cos\varphi$, який характерний для електроприймачів даного режиму роботи).

При наявності у групі електроприймачів різних режимів роботи вирази для активного та реактивного навантажень змінюються:

$$P_{см.} = \sum p_{см.} = \sum k_{и} \cdot p_{ном.}$$

$$Q_{см.} = \sum q_{см.} = \sum p_{см.} \cdot \tan\varphi$$

При визначенні розрахункового навантаження по встановленій потужності і коефіцієнту використання складається “звідна таблиця споживачів”, таблиця 3.1. В цій таблиці вказуються споживачі електричної енергії, номінальна потужність електроприймачів, коефіцієнт використання, коефіцієнт потужності, коефіцієнт реактивної потужності, середні активні та реактивні потужності.

Таблиця 3.1. Характеристика споживачів електроенергії.

Група струмо-приймачів	Кількість	Номінальна потужність, кВт	Коефіцієнт використання	Коефіцієнт потужності	Коефіцієнт реактивної потужності	Розрахункова потужність	
						Активна, кВт	Реактивна, кВар
1	2	3	4	5	6	7	8
Пратцен крани	2	267	0,45	0,6	1,33	240,3	320,4
Завантажувальні шлепери	2	75	0,25	0,7	1,02	37,5	38,258
Підводячий рольганг	2	63	0,1	0,8	0,75	12,6	9,45
Скидач	2	21	0,2	0,49	1,78	8,4	14,944
Витягувальний пристрій	2	58	0,65	0,8	0,75	75,4	56,55
Штовхачі	2	84	0,65	0,8	0,75	109,2	81,9
Трайб-апарати-витягувачі	2	60	0,65	0,8	0,75	78	58,5
З’єднувальні рольганги	4	32	0,1	0,8	0,75	12,8	9,6
Трайб-апарати	4	44	0,65	0,8	0,75	114,4	85,8
Летючі аварійні ножиці	1	280	0,45	0,65	1,17	126	147,31
Обривні важільні ножиці	2	220	0,45	0,65	1,17	198	231,49
Моталки	8	16	0,65	0,8	0,75	83,2	62,4
Зіштовхувач	8	84	0,65	0,8	0,75	436,8	327,6
Одноланцюжний транспортер	4	11	0,26	0,58	1,41	11,44	16,068

Муфельний транспортер	4	7,5	0,26	0,58	1,41	7,8	10,955
Бунтонавішувач	4	9	0,65	0,8	0,75	23,4	17,55
Гаковий конвеєр	4	55	0,35	0,7	1,02	77	78,556
Бунтоз'ємний пристрій	1	9	0,65	0,8	0,75	5,85	4,388
Пакет машина	1	12	0,65	0,8	0,75	7,8	5,85
Електромостовий кран	2	39	0,45	0,6	1,33	35,1	46,8
Компресор ВК-350-7-2	1	35	0,3	0,6	1,33	10,2	13,6
Чорнова група клітей	9	1150	0,35	0,8	0,75	3622,5	2716,9
Перша проміжна група клітей	4	950	0,35	0,8	0,75	1330	997,5
Друга проміжна група клітей	8	900	0,35	0,8	0,75	2520	1890
Чистова група клітей	16	850	0,35	0,8	0,75	4760	3570
Вентилятори машинного залу	10	10	0,65	0,8	0,75	65	4,875
Вентилятори прокатного стану	10	10	0,75	0,8	0,75	75	5,625
Освітлення цеху	40	700	0,85	0,9	–	23,8	–
Освітлення побутових приміщень	70	100	0,85	0,9	–	5,95	–
Освітлення кабінетів	80	75	0,85	0,9	–	5,1	–

Максимальні розрахункові активну та реактивну потужності визначимо за формулами:

$$P_{макс.} = K_{макс.} \cdot P_{см.}$$

$$Q_{макс.} = K_{макс.} \cdot Q_{см.}$$

Після цього можна підрахувати максимальну повну потужність:

$$S_{макс.} = \sqrt{(P_{макс.})^2 + (Q_{макс.})^2}$$

Розрахунки зведемо в таблицю 3.2. В ній вкажемо споживачів електричної енергії, коефіцієнт використання, коефіцієнт максимуму, середні активні та реактивні потужності, максимальні розрахункові активні та реактивні потужності, максимальну повну потужність.

Таблиця 3.2. Розрахунок максимальних потужностей.

Група струмо-приймачів	Коефіцієнт використання	Коефіцієнт максимуму	Розрахункова потужність		Максимальна потужність		
			Активна, кВт	Реактивна, кВар	Активна, кВт	Реактивна, кВар	Повна, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8
Пратцен крани	0,45	1,86	240,3	320,4	446,96	595,94	744,93
Завантажувальні шлепери	0,25	2,57	37,5	38,258	96,375	98,322	137,68
Підводячий рольганг	0,1	3,63	12,6	9,45	45,738	34,304	57,173
Скидач	0,2	3,35	8,4	14,944	28,14	50,062	57,429
Витягувальний пристрій	0,65	1,42	75,4	56,55	107,07	80,301	133,84
Штовхачі	0,65	1,42	109,2	81,9	155,06	116,3	193,83
Трайб-апарати-витягувачі	0,65	1,42	78	58,5	110,76	83,07	138,45
З'єднувальні рольганги	0,1	3,43	12,8	9,6	43,904	32,928	54,88
Трайб-апарати	0,65	1,38	114,4	85,8	157,87	118,4	197,34
Летючі аварійні ножиці	0,45	1,95	126	147,31	245,7	287,26	378
Обривні важільні ножиці	0,45	1,86	198	231,49	368,28	430,57	566,58
Моталки	0,65	1,25	83,2	62,4	104	78	130
Зіштовхувач	0,65	1,25	436,8	327,6	546	409,5	682,5
Одноланцюжний транспортер	0,26	2,38	11,44	16,068	27,227	38,241	46,943
Муфельний транспортер	0,26	2,38	7,8	10,955	18,564	26,073	32,007
Бунтонавішувач	0,65	1,38	23,4	17,55	32,292	24,219	40,365
Гаковий конвеєр	0,35	2,01	77	78,556	154,77	157,9	221,1
Бунтоз'ємний пристрій	0,65	1,46	5,85	4,388	8,541	6,406	10,676
Пакет машина	0,65	1,46	7,8	5,85	11,388	8,541	14,235
Електромостовий кран	0,45	1,86	35,1	46,8	65,286	87,048	108,81
Зіштовхувач	0,65	1,25	436,8	327,6	546	409,5	682,5
Одноланцюжний транспортер	0,26	2,38	11,44	16,068	27,227	38,241	46,943
Муфельний транспортер	0,26	2,38	7,8	10,955	18,564	26,073	32,007
Бунтонавішувач	0,65	1,38	23,4	17,55	32,292	24,219	40,365
Гаковий конвеєр	0,35	2,01	77	78,556	154,77	157,9	221,1
Бунтоз'ємний пристрій	0,65	1,46	5,85	4,388	8,541	6,406	10,676

Пакет машина	0,65	1,46	7,8	5,85	11,388	8,541	14,235
Електромостовий кран	0,45	1,86	35,1	46,8	65,286	87,048	108,81
Компресор ВК-350-7-2	0,3	2,42	10,2	13,6	24,684	32,912	41,14
Чорнова група клітей	0,35	1,56	3622,5	2716,9	5651,1	4238,3	7063,9
Перша проміжна група клітей	0,35	2,01	1330	997,5	2673,3	2005	3341,6
Друга проміжна група клітей	0,35	1,62	2520	1890	4082,4	3061,8	5103
Чистова група клітей	0,35	1,35	4760	3570	6426	4819,5	8032,5
Вентилятори машинного залу	0,65	1,21	65	4,875	78,65	58,988	98,313
Вентилятори прокатного стану	0,75	1,12	75	5,625	84	63	105
Освітлення цеху	0,85	1,04	23,8	–	24,752	–	24,752
Освітлення побутових приміщень	0,85	1,025	5,95	–	6,099	–	6,099
Освітлення кабінетів	0,85	1,025	5,1	–	5,228	–	5,228

3.2 Вибір трансформатору

3.2.1 Вибір високовольтних трансформаторів

Вибір трансформатору будемо виконувати по розрахунковій потужності споживачів для нормального і аварійного режимів.

У цьому випадку виходять з їх раціонального завантаження у нормальному режимі, а також з мінімально необхідного резервування у післяаварійному режимі.

Відключення трансформаторів рідко мають місце, але таку вірогідність варто враховувати, тому при наявності серед навантажень споживачів I й II категорій зазвичай встановлюють два трансформатори. Більша кількість трансформаторів не рекомендується, тому що це призводить до ускладнення схеми та появи труднощів при експлуатації.

В умовах нормальної роботи на підстанціях встановлюють два трифазних трансформатори з номінальними потужностями, які складають 60-70% від максимального навантаження.

Визначаємо необхідну потужність трансформаторів

$$S_{тр.} = \frac{S_{сер.макс.}}{N \cdot K_з} = \frac{27768297}{2 \cdot 0{,}7} = 19830000\, B \cdot A$$

де $S_{сер.макс.}$ – середнє навантаження за найбільш завантажену зміну

$S_{сер.макс.} = 27768297\, B \cdot A$

N – число трансформаторів ($N = 2$)

$K_з$ – коефіцієнт завантаження трансформатору ($K_з = 0{,}7$)

Вибираємо високовольтні трансформатори, технічні дані яких наведемо у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Технічні дані високовольтних трансформаторів.

Марка	Номінальна потужність, кВА	Поєднання напруг, кВ			Втрати, кВт		$U_{кз}$, %			$I_{хх}$, %
		ВН	СН	НН	$P_{хх}$	$P_{кз}$	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН	
ТДТН-25000/150-70У1 (х2)	25000	158	38,5	11	34	145	10,5	18	6	0,9

Перевіряємо трансформатор, що залишився у роботі (у випадку аварії) на перевантажувальну здатність

$1{,}4 \cdot Sтр.н \geq Sсер.макс.$

$1{,}4 \cdot 25000000 \geq 27768297 \Rightarrow 35000000 \geq 27768297$

Умова виконується.

3.2.2 Вибір цехового трансформатору

Вибираємо цеховий трансформатор за умовою

$S_{цех.тр.н} \geq S_{сер.макс.}'$

де $S_{цех.тр.н}$ – номінальна потужність цехового трансформатору

$S_{сер.макс.}'$ – середнє навантаження за найбільш завантажену зміну, яке живиться від цього трансформатору

$S_{сер.макс.}' = 812500\,B \cdot A$

Технічні дані вибраного трансформатору наведемо у таблиці 3.4

Таблиця 3.4. Технічні дані цехового трансформатору.

Марка	Номінальна потужність, кВА	Поєднання напруг, кВ		Втрати, кВт		$U_{кз}$, %	$I_{хх}$, %
		ВН	НН	$P_{хх}$	$P_{кз}$		
ТМ-1000/10 У1	1000	10	0,4	2,45	12,2	5,5	1,4

3.3 Розрахунок лінії електропередачі

3.3.1 Вибір кабелю по допустимому навантаженню

Вибір кабелю по допустимому навантаженню (допустимому нагріву) виконується виходячи із співвідношення:

$I_{тр.доп.каб.} \geq I_{тр.доп.розр.}$

де $I_{тр.доп.каб.}$ – тривало допустимий струм кабелю в залежності від перетину, відповідно до таблиці з вибраним дротом

$I_{тр.доп.розр.}$ – розрахунковий тривало допустимий струм кабелю

$$I_{тр.доп.розр.} = \frac{I_{розр.норм.}}{K_t \cdot K_n \cdot K_{тв}} = \frac{57{,}017}{0{,}8 \cdot 0{,}85 \cdot 1} = 83{,}849\,A$$

де $I_{розр.норм.}$ – максимальний розрахунковий струм нормального режиму роботи

$$I_{розр.норм.} = \frac{I_{розр.авар.}}{2} = \frac{114{,}035}{2} = 57{,}017\,A$$

де $I_{розр.авар.}$ – максимальний розрахунковий струм кабелю, який визначається для аварійного режиму роботи мережі

$$I_{розр.авар.} = \frac{S_{сер.макс.м}}{3 \cdot U_н} = \frac{130000}{3 \cdot 380} = 114{,}035 A$$

де $S_{сер.макс.м}$ – середня потужність моталок за найбільш завантажену зміну

$S_{сер.макс.м} = 130000 B \cdot A$

$U_н$ – напруга живлення моталки ($U_н = 380 B$)

K_t – температурний коефіцієнт, враховує умови навколишнього середовища по відношенню до розрахункових умов ($K_t = 0{,}8$)

$K_п$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий кількість кабелів, які прокладаються в одному коробі одночасно ($K_п = 0{,}85$)

$K_{тв}$ – коефіцієнт тривалості включення (для тривалого режиму $K_{тв} = 1$)

3.3.2 Вибір кабелю по економічній щільності струму

Вибір кабелю по економічній щільності струму виконується виходячи із співвідношення:

$F_{каб.} \geq F_{розр.}$

де $F_{каб.}$ – перетин кабелю

$F_{розр.}$ – розрахунковий перетин кабелю

$$F_{розр.} = \frac{I_{розр.норм.}}{j_{эк.}} = \frac{57{,}017}{1{,}4} = 40{,}726 мм^2$$

де $j_{эк.}$ – економічна щільність струму (для кабелів с паперовою ізоляцією і алюмінієвими жилами $j_{эк.} = 1{,}4$)

По результатам пунктів 4.3.1 та 4.3.2 обираємо кабель АВВГ 3х50+1х25, $I_{тр.доп.каб.} = 110\,A$

3.3.3 Вибір ЛЕП по допустимому навантаженню

Вибір ЛЕП по допустимому навантаженню (допустимому нагріву) виконується виходячи із співвідношення:

$$I_{тр.доп.л} \geq I_{тр.доп.розр.}$$

де $I_{тр.доп.л}$ – тривало допустимий струм ЛЕП в залежності від перетину

$I_{тр.доп.розр.}$ – розрахунковий тривало допустимий струм ЛЕП

$$I_{тр.доп.розр.} = \frac{I_{розр.норм.}}{K_t \cdot K_{тв}} = \frac{231{,}403}{0{,}9 \cdot 1} = 257{,}114\,A$$

де $I_{розр.норм.}$ – максимальний розрахунковий струм нормального режиму роботи

$$I_{розр.норм.} = \frac{I_{розр.авар.}}{2} = \frac{462{,}805}{2} = 231{,}403\,A$$

де $I_{розр.авар.}$ – максимальний розрахунковий струм кабелю, який визначається для аварійного режиму роботи мережі

$$I_{розр.авар.} = \frac{S_{сер.макс.}}{3 \cdot U_н} = \frac{27768297}{2 \cdot 3 \cdot 10000} = 462{,}805\,A$$

де – $U_н$ – напруга живлення шини на 10кВ ($U_н = 10000\,B$)

двійка у знаменнику враховує, що шини на 10кВ живляться від двох ВЛЕП

K_t – температурний коефіцієнт, враховує умови навколишнього середовища по відношенню до розрахункових умов ($K_t = 0{,}9$)

$K_{тв}$ – коефіцієнт тривалості включення (для тривалого режиму $K_{тв} = 1$)

3.3.4 Вибір ЛЕП по економічній щільності струму

Вибір ЛЕП по економічній щільності струму виконується виходячи із співвідношення:

$$F_л \geq F_{розр.}$$

де $F_л$ – перетин ЛЕП

$F_{розр.}$ – розрахунковий перетин ЛЕП

$$F_{розр.} = \frac{I_{розр.норм.}}{j_{эк.}} = \frac{257{,}114}{1{,}8} = 142{,}841 мм^2$$

де $j_{эк.}$ – економічна щільність струму (для неізольованих мідних проводів і шин $j_{эк.} = 1{,}8$)

По результатам пунктів 4.3.3 та 4.3.4 обираємо кабельну лінію з алюмінієвою жилою перетином 185мм^2, $I_{тр.доп.л} = 270 А$

3.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання будемо проводити у базисних величинах

3.4.1 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1кВ (т. К1)

Складаємо схему заміщення

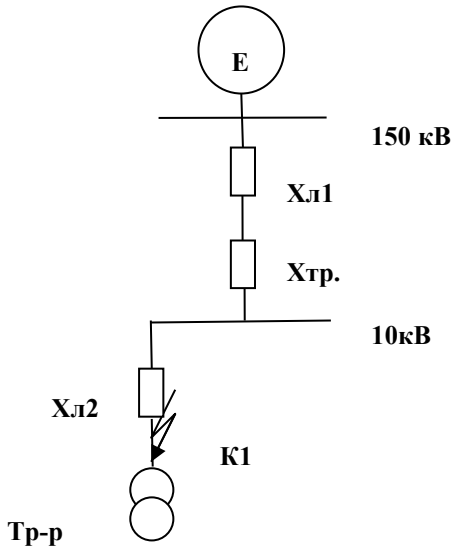


Рисунок 3.1 - Схема заміщення для точки К1.

При розрахунку струмів короткого замикання в мережі вище 1кВ будемо враховувати тільки індуктивні опори споживачів.

Приймаємо за базисну потужність $S_{б} = 100 МВ \cdot А$, базисні напруги $U_{б1} = 154 кВ$, $U_{б2} = 10 кВ$.

Визначаємо базисний струм

$$I_{б} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{б1}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5{,}774 кА$$

Визначаємо індуктивний опір ЛЕП 150кВ

$$X_{л1} = \frac{X_{0л1} \cdot l_{л1} \cdot S_{б}}{U_{б1}^{2}} = \frac{0{,}42 \cdot 120 \cdot 100}{154^{2}} = 0{,}213$$

де $X_{0л1}$ – індуктивний питомій опір ЛЕП 150кВ ($X_{0л1} = 0{,}42 Ом / км$)

$l_{л1}$ – довжина ЛЕП 150кВ ($l_{л1} = 120 км$)

Визначаємо індуктивний опір високовольтного трансформатору

$$X_{тр.} = \frac{U_{к}}{100} \cdot \frac{S_{б}}{S_{тр.н}} = \frac{18}{100} \cdot \frac{100}{25} = 0{,}72$$

де $U_к$ – номінальна напруга короткого замикання високовольтного трансформатору

$S_{тр.н}$ – номінальна потужність високовольтного трансформатору

Визначаємо індуктивний опір кабельної лінії 10кВ

$$X_{л2} = \frac{X_{0л2} \cdot l_{л2} \cdot S_б}{U_{б2}^2} = \frac{0{,}077 \cdot 1 \cdot 100}{10^2} = 0{,}077$$

де $X_{ол2}$ – індуктивний питомій опір кабельної лінії 10кВ ($X_{0л2} = 0{,}077 Ом/км$)

$l_{л2}$ – довжина кабельної лінії 10кВ ($l_{л2} = 1км$)

Визначаємо сумарній індуктивний опір у точці К1 на стороні 10кВ

$$X_{\Sigma к1} = X_{тр.} + X_{л1} + X_{л2} = 0{,}213 + 0{,}72 + 0{,}077 = 1{,}01$$

Визначаємо струм короткого замикання

$$I_{к.з.} = \frac{I_б}{x_{\Sigma ê1}} = \frac{5{,}774}{1{,}01} = 5{,}719кА$$

Визначаємо ударний струм у точці короткого замикання:

$$I_{удар.} = k_{удар.} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к.з.} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 5{,}719 = 14{,}56кА$$

де $k_{удар.}$ – коефіцієнт ударного струму ($k_{удар.} = 1{,}8$)

Визначаємо потужність короткого замикання

$$S_{к.з.} = \frac{S_б}{x_{\Sigma к1}} = \frac{100}{1{,}01} = 99{,}06МВ \cdot А$$

Визначаємо динамічній струм на шинах

$$I_{дин.} = I_{удар.} + 6{,}5 \cdot I_{розр.норм.} = 14{,}56 + 6{,}5 \cdot 0{,}231 = 16{,}06кА$$

3.4.2 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1кВ (точка К2)

Складаємо схему заміщення

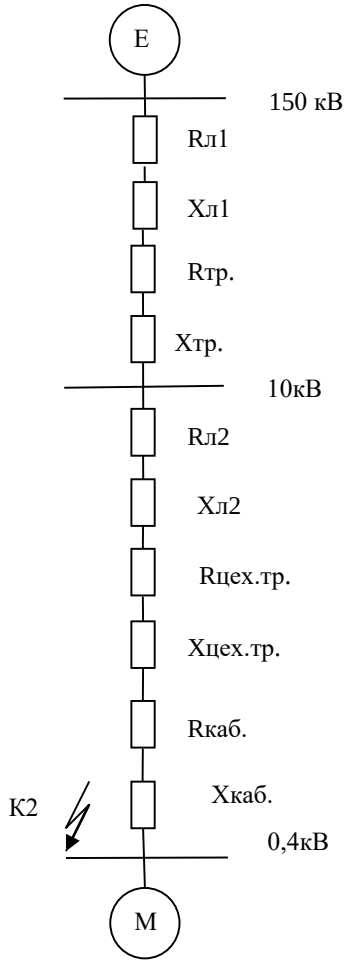


Рисунок 3.2 - Схема заміщення для точки К2.

При розрахунку струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ будемо враховувати не тільки індуктивні опори споживачів, а й активні опори.

Приймаємо за базисну потужність $S_{б} = 100 МВ \cdot А$, базисну напругу $U_{б3} = 0{,}4 кВ$.

Визначаємо базисний струм

$$I_{б} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} \cdot U_{б3}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 144{,}3 кА$$

Індуктивний опір ЛЕП 150кВ

$$X_{л1} = 0{,}213$$

Визначаємо активний опір ЛЕП 150кВ

$$R_{л1} = \frac{R_{0л1} \cdot l_{л1} \cdot S_б}{U_{б1}^2} = \frac{0{,}12 \cdot 120 \cdot 100}{154^2} = 0{,}061$$

де $R_{0л1}$ – активний питомій опір ЛЕП 150кВ ($R_{0л1} = 0{,}12 Ом/км$)

Індуктивний опір високовольтного трансформатору

$$X_{тр.} = 0{,}72$$

Визначаємо активний опір високовольтного трансформатору

$$R_{тр.} = \frac{\Delta P_м}{S_{тр.н}} \cdot \frac{S_б}{S_{тр.н}} = \frac{0{,}145}{25} \cdot \frac{100}{25} = 0{,}023$$

Індуктивний опір кабельної лінії 10кВ

$$X_{л2} = 0{,}077$$

Визначаємо активний опір кабельної лінії 10кВ

$$R_{л2} = \frac{R_{0л2} \cdot l_{л2} \cdot S_б}{U_{б2}^2} = \frac{0{,}167 \cdot 1 \cdot 100}{10^2} = 0{,}167$$

де $R_{0л2}$ – активний питомій опір кабельної лінії 10кВ ($R_{0л2} = 0{,}12 Ом/км$)

Визначаємо індуктивний опір цехового трансформатору

$$X_{цех.тр.} = \frac{U_к}{100} \cdot \frac{S_б}{S_{цех.тр.н}} = \frac{5{,}5}{100} \cdot \frac{100}{1} = 5{,}5$$

Визначаємо активний опір цехового трансформатору

$$R_{цех.тр.} = \frac{\Delta P_м}{S_{цех.тр.н}} \cdot \frac{S_б}{S_{цех.тр.н}} = \frac{0{,}0122}{1} \cdot \frac{100}{1} = 1{,}22$$

Визначаємо індуктивний опір кабелю 0,4кВ

$$X_{каб.} = \frac{X_{0каб.} \cdot l_{каб.} \cdot S_б}{U_{б3}^2} = \frac{0{,}167 \cdot 1 \cdot 100}{0{,}4^2} = 3{,}75$$

де $X_{0каб.}$ – індуктивний питомій опір кабелю 0,4кВ ($X_{0каб.} = 0{,}06 Ом/км$)

$l_{каб.}$ – довжина кабелю 0,4кВ ($l_{л2} = 1км$)

Визначаємо активний опір кабелю 0,4кВ

$$R_{каб.} = \frac{R_{0каб.} \cdot l_{каб.} \cdot S_б}{U_{б3}^2} = \frac{0{,}769 \cdot 0{,}1 \cdot 100}{0{,}4^2} = 48{,}063$$

де $R_{0каб.}$ – активний питомій опір кабелю 0,4кВ ($R_{0каб.} = 0{,}769 Ом/км$)

Визначаємо сумарній індуктивний опір у точці К2 на стороні 0,4кВ

$$X_{\sum к2} = X_{л1} + X_{тр.} + X_{л2} + X_{цех.тр.} + X_{каб.} =$$
$$= 0{,}213 + 0{,}72 + 0{,}077 + 5{,}5 + 3{,}75 = 10{,}26$$

Визначаємо сумарній активний опір у точці К2 на стороні 0,4кВ

$$R_{\sum к2} = R_{л1} + R_{тр.} + R_{л2} + R_{цех.тр.} + R_{каб.} =$$
$$= 0{,}061 + 0{,}023 + 0{,}167 + 1{,}22 + 48{,}063 = 49{,}533$$

Визначаємо сумарній повний опір у точці К2 на стороні 0,4кВ

$$Z_{\sum к2} = \sqrt{\left(X_{\sum к2}\right)^2 + \left(R_{\sum к2}\right)^2} = \sqrt{10{,}26^2 + 49{,}533^2} = 50{,}585$$

Визначаємо струм короткого замикання

$$I_{к.з.} = \frac{I_б}{Z_{\sum к2}} = \frac{144{,}3}{50{,}585} = 2{,}853 кА$$

Визначаємо ударний струм у точці короткого замикання:

$$I_{удар.} = k_{удар.} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к.з.} = 1{,}8 \cdot \sqrt{2} \cdot 2{,}853 = 7{,}264 кА$$

Визначаємо потужність короткого замикання

$$S_{к.з.} = \frac{S_б}{Z_{\sum к2}} = \frac{100}{50{,}585} = 1{,}977 МВ \cdot А$$

Динамічній струм на шинах дорівнює

$$I_{дин.} = I_{удар.} + 6{,}5 \cdot I_{розр.норм.} = 7{,}264 + 6{,}5 \cdot 0{,}057 = 7{,}634 кА$$

3.5 Вибір захисних апаратів

3.5.1 Вибір плавкого запобіжника

Вибір плавких запобіжників виконується по напрузі і струму:

$U_{плавк.н} \geq U_{сн} \Rightarrow 0{,}4 \geq 0{,}4$

де $U_{плавк.н}$ – номінальна напруга плавкого запобіжника

$U_{сн}$ – номінальна напруга мережі (0,4кВ)

$I_{плавк.н} \geq I_{расч.авар.} \Rightarrow 160 \geq 142{,}544$

де $I_{плавк.н}$ – номінальний струм плавкого запобіжника

$I_{расч.авар.}$ – максимальний розрахунковий струм лінії електропередач

Зазвичай:

$I_{плавк.н} \geq k \cdot I_{расч.авар.} = 1{,}25 \cdot 114{,}035 = 142{,}544 A$

де k – коефіцієнт запасу ($k = 1{,}25$)

Визначаємо мінімальний струм відключення

$I_{\min} = (1{,}3 \div 1{,}5) \cdot I_{розр.норм.} = 1{,}4 \cdot 57{,}017 = 79{,}824 A$

Даному мінімальному струму відповідає діаметр алюмінієвого дроту (плавкої вставки) 1,22мм

Вибраний плавкий запобіжник та його технічні дані занесемо до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Технічні дані плавкого запобіжника.

Тип	Номінальний струм плавкого запобіжника	Номінальний струм плавкої вставки, А	Найбільший струм відключення, кА	Номінальна напруга плавкого запобіжника, В
ПН2-250	250	160	40	400

3.5.2 Вибір автоматичного вимикача

Автоматичні вимикачі вибираються за умов:

1) номінальний струм електромагнітного або комбінованого розчеплювача вибирається за значенням тривалого розрахункового струму лінії.

$$I_{ел.розч.н} \geq I_{тр.доп.розр.} \Rightarrow\geq 83{,}849$$

2) струм спрацювання відсічки електромагнітного або комбінованого розчеплювача перевіряється за піковим струмом лінії

$$I_{спрац.ел.розч.} \geq k \cdot I_{пік} \Rightarrow\geq 1{,}25 \cdot 350 \Rightarrow\geq 437{,}5$$

де $I_{пік}$ – піковий струм лінії (в даному випадку відповідає пусковому струму двигуна, $I_{пік} = 350A$)

Таблиця 3.6. Технічні дані автоматичного вимикача.

Тип	Номінальний струм автоматичного вимикача, А	Діапазон струмів розчеплювача перевантаження, А	Діапазон струмів розчеплювача короткого замикання, А	Вимикаємо здатність, кА
LZMN3-A500-I	500	400-500	3000-5000	50

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розглянуто елементи системи електропостачання цеху та кранових механізмів. Виконано розрахунки потужності цехової підстанції, виконано вибір силових трансформаторів та основного комутаційного обладнання. Виконано розрахунки струмів короткого замикання на землю на стороні високої та низької напруги. Обрано захисну апаратуру.

Висновки по роботі

У першому розділі розглянуто переваги використання гвинтових компресорів, наведено технічні та конструктивні особливості гвинтового компресора ВХ-350-7-2, наведено технічна характеристика гвинтового компресора ВХ-350-7-2. Виконано розрахунок потужності електроприводу гвинтового компресора ВХ-350-7-2. У якості приводного двигуна обрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу А3-315S-2Y3 потужністю 35 кВт, частота обертання 3000 об/хв. Виконано розрахунок потужності перетворювача частоти, обрано пристрій типу ACS 604-0210-3 виробництва компанії АВВ.

У другому розділі для приводного асинхронного двигуна гвинтової компресорної установки ВХ-350-7-2 наведено Т-подібну схему заміщення, виконано розрахунки її параметрів. Для асинхронного двигуна виконано розрахунок природних швидкісних, електромеханічних та енергетичних характеристик електроприводу у розімкненій системі керування.

З використанням MATLAB/Simulink та бібліотеки SimPower створено симуляційну модель приводного асинхронного двигуна гвинтового компресора, виконано розрахунок процесу прямого асинхронного пуску з урахуванням вентиляторного характеру моменту опору.

У третьому розділі розглянуто елементи системи електропостачання цеху та кранових механізмів. Виконано розрахунки потужності цехової підстанції, виконано вибір силових трансформаторів та основного комутаційного обладнання. Виконано розрахунки струмів короткого замикання на землю на стороні високої та низької напруги. Обрано захисну апаратуру.

Перелік використаних джерел

1. І. М. Голодний, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Л. С. Червінський, Д. А. Абдураманов, А. В. Торопов, О. В. – Регульований електропривод [Текст] : підручник. – Київ : Ліра-К, 2015. – 504 с.
2. О. М. Возняк – Сучасні системи електроприводів [Текст] : навчальний посібник : у 2 ч. – Вінниця : ТВОРИ, 2021. – Ч. 1. – 280 с.
3. С. П. Денисюк – Системи силової електроніки та засоби електромеханіки [Текст] : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 120 с.
4. Chornyi, O. Tolochko, V. Tytyuk., D. Rodkin, G. Chekavskiy Mathematical models and specifics of numerical calculations of dynamic characteristics of electric drives with induction motors: monograph / – Kremenchuk: PE Shcherbatykh O.V. – 302 p. [in Ukrainian], 2016.
5. Браславський І. Я. Енергозберігаючий асинхронний привід. - М.: AKADEMIA, 2004. – 250с.
6. Мелешин В. І. Транзисторна перетворювальна техніка. - М.: Техносфера, 2005. – 632с.
7. Широтно-імпульсна модуляція в електроприводі змінного струму [Електронний ресурс]/Пересада С.М., Король С.В. Режим доступу: http://www.el-drive.com.ua/index.php?adr=5_article_el.
8. Казачковський М. М. Комплектний електропривод. – Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 226 с.
9. Довідник з електричних машин: Навч. посібник для студ. освітніх установ середньої проф. освіти / Кацман М. М. - М.: "Академія"., 2005. – 480с.
10. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Луганськ: Ноулідж, 2010, с. 670.