

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Модернізація електроприводу компресорної установки для
оснащення локомотивів стислим повітрям»

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-пМЕ

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Чистота А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Єрмілова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра

«Модернізація електроприводу компресорної установки для оснащення локомотивів стислим повітрям»

Робота містить 62 сторінок, 16 ілюстрацій, 9 таблиць, 18 використаних джерел.

Ключові слова: електровоз, компресор, електропривод, двигун, тиристорний перетворювач, стійкість системи.

Об'єктом розроблення кваліфікаційної роботи є електропривод компресорної установки для оснащення локомотивів стислим повітрям. У результаті виконання кваліфікаційної роботи було проведено дослідження діючої системи керування електроприводом компресора локомотива, проаналізовано її переваги та недоліки. Розраховані основні показники роботи компресора, проведений розрахунок потужності та вибір двигуна компресора, двигун перевірений на перевантаження та можливість пуску при зниженні напруги.

Для регулювання подачі повітря відповідно до параметрів обраного електродвигуна проведена заміна нерегульованого електроприводу на більш економічний регульований по системі «Тиристорний перетворювач частоти – асинхронний двигун». Розроблена система автоматичного керування електроприводом компресора, у ній реалізовано принцип керування за відхиленням, а координатами керування є струм і ЕРС двигуна. Визначені передавальні функції розімкненої та замкненої системи. Проведена оцінка стійкості та якості системи керування показала, що всі показники знаходяться у межах норми для даного електроприводу.

Таким чином, дослідження показали, що електропривод придатний для впровадження та практичної експлуатації.

PRECIS

qualification work of the bachelor

«Modernization of the electric drive of the compressor unit for equipping locomotives with compressed air»

The work contains 62 pages, 16 illustrations, 9 tables, 20 sources used.

Key words: electric locomotive, compressor, electric drive, motor, thyristor converter, system stability.

The object of development of qualification work is the electric drive of the compressor installation for equipping locomotives with compressed air. As a result of the qualification work, a study of the current control system of the electric drive of the locomotive compressor was carried out, its advantages and disadvantages were analyzed. The main performance indicators of the compressor are calculated, the power is calculated and the compressor motor is selected, the motor is tested for overload and the possibility of starting at low voltage.

To regulate the air supply in accordance with the parameters of the selected electric motor, the unregulated electric drive was replaced with a more economical adjustable system "Thyristor frequency converter - asynchronous motor". A system of automatic control of the electric drive of the compressor has been developed, the principle of control by deviation is implemented in it, and the control coordinates are current and EMF of the motor. The transfer functions of open and closed system are defined. The assessment of the stability and quality of the control system showed that all indicators are within the norm for this electric drive.

Thus, studies have shown that the electric drive is suitable for implementation and practical operation.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій

_____ О.В. Шефер
“ 11 ” травня 2021 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Чистоті Андрію Олеговичу

1. Тема роботи «Модернізація електроприводу компресорної установки для оснащення локомотивів стислим повітрям»
керівник роботи Єрмілова Наталя Василівна, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2021 року № 158 – фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) технічна документація на компресорну установку. Номінальна напруга 380В. Об'ємна продуктивність компресора $(5\pm 0,25)$ м³/хв. Газ, що стискається - атмосферне повітря. Частота обертання валу 2950 об/хв. Забезпечити перерегулювання у межах 30%, час регулювання – не більше 1 сек, запас стійкості по фазі не менше 30°.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика обладнання для оснащення локомотивів стислим повітрям. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задачі на кваліфікаційну роботу. Розрахунок параметрів компресорної установки. Вибір та перевірка двигуна електроприводу компресора. Модернізація схеми управління електроприводом компресорної установки. Розроблення структурної схеми САК. Побудова та аналіз перехідних процесів. Визначення якісних параметрів та стійкості системи.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) загальний вигляд локомотива з компресорною установкою;
 - 2) схема пневматична компресорної установки;
 - 3) схема електрична функціональна електроприводу компресора;
 - 4) схема електрична принципова електроприводу компресора;
 - 5) структурна схема САК;
 - 6) визначення стійкості та якості системи.

6. Дата видачі завдання 11.05.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Характеристика обладнання для оснащення локомотивів стислим повітрям. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задачі на кваліфікаційну роботу.	18.05.21		25%	Пл. 1
2	Розрахунок параметрів компресорної установки. Вибір та перевірка двигуна електроприводу компресора	26.05.21	I	50%	Пл. 2
3	Модернізація схеми управління електроприводом компресорної установки.	02.06.21		60%	Пл. 4
4	Розроблення структурної схеми САК. Побудова та аналіз перехідних процесів. Визначення якісних параметрів та стійкості системи.	09.06.21		80 %	Пл. 5
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06.21	II	100%	Пл. 6

Студент _____
(підпис)

Чистота А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Єрмілова Н.В.
(прізвище та ініціали)

Зміст

	Арк.
Вступ.....	6
1 Технологічна частина.....	8
1.1 Загальні положення компресорів на залізничному транспорті.....	8
1.2 Будова і робота установки.....	11
1.3 Постановка задач на кваліфікаційну роботу	15
2 Розрахунково-конструкторська частина.....	16
2.1 Розрахунок параметрів компресорної установки.....	16
2.2 Вибір та перевірка вибору електродвигуна компресора.....	21
2.2.1 Мета вибору електродвигуна.....	21
2.2.2 Вибір електродвигуна для приводу компресора.....	21
2.3 Схема керування компресорною установкою.....	28
2.4 Модернізація схеми керування.....	33
2.5 Розрахунок елементів принципової схеми.....	36
2.5.1 Розрахунок пускових реакторів в колі статора.....	36
2.5.2 Розрахунок трифазного мостового некерованого випрямляча.....	39
2.5.3 Розрахунок керованого випрямляча.....	40
2.5.4 Розрахунок автономного інвертора напруги.....	46
3 Дослідження якості та стійкості модернізованої системи.....	51
3.1 Структурна схема САК.....	51
3.2 Визначення розімкненої та замкненої передавальної функції	52

3.3 Оцінка стійкості системи.....	56
3.4 Оцінка якості системи.....	57
Висновки.....	60
Література.....	61

Вступ

Енергозбереження стає щоразу актуальнішою проблемою сьогодення. Стосується це усіх сфер нашого життя і транспорт не є винятком. Енергозбереження поступово з питання ефективності функціонування економіки, позиції держави у світі і добробуту її населення переростає у питання виживання цілих країн і народів. Застосування найсучасніших і найефективніших джерел сфера енергії традиційних і не дуже не варте нічого без енергозбереження, що означає зменшення, у нашому варіанті – радикальне, непродуктивних енерговитрат.

Актуальність теми полягає в тому, що на транспорті ми маємо незадовільний стан енергетичного господарства, який обумовлений цілою низкою інституційних, економічних, науково-технічних, інформаційно-освітніх та інших причин. Головними економічними причинами є загальні макроекономічні проблеми національної економіки, низький рівень фінансування з державного та місцевих бюджетів навіть транспорту, що знаходиться у державному секторі, та загальна нерозвиненість фінансової бази. Загалом в економічно-фінансовій сфері дуже гострими є такі проблеми, як цінова нестабільність і недосконалість системи ціноутворення на енергоносії, що не дає змоги акумулювати інвестиційні кошти на транспортних підприємствах.

Науково-технічні проблеми – значна частка низькоефективної техніки та обладнання, що використовується на транспорті, загальний низький рівень застосування передових світових досягнень науки та техніки, обмеженість у використанні сучасних енергоефективних засобів та енергозберігаючих технологій, відсутність необхідних приладів і технічних засобів регулювання енерговикористання та приладів обліку і контролю.

Безперервне вдосконалення силової напівпровідникової техніки дозволяє створювати сучасні джерела живлення для регульованого електроприводу. В більшості випадків основою сучасного регульованого приводу є короткозамкнутий асинхронний двигун (АД).

В даний момент найбільш перспективним способом управління АД є частотне управління, тобто використання системи перетворювач частоти - асинхронний двигун [7].

Перетворювач частоти покладений в основу відповідальних електроприводів, проте менш поширений, ніж тиристорний регулятор напруги, зважаючи на властивих йому дорожнечі і завищеним масогабаритним показникам. Обидві системи можуть забезпечити необхідні стани координат руху виконавчих органів машин і механізмів.

Метою даної кваліфікаційної роботи є модернізація схеми керування електроприводу компресорної установки для оснащення локомотивів стислим повітрям з метою зниження споживаної потужності двигуна компресора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні задачі:**

- модернізувати схему керування електроприводом компресорної установки шляхом встановлення регульованого електропривода з частотним керуванням, що дасть можливість значно зменшити середньомісячну витрату електроенергії;
- розрахувати та вибрати силові елементи модернізованої схеми;
- перевірити систему на якість та стійкість.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Використання компресорів на залізничному транспорті

На залізничному транспорті для забезпечення управління, приведення в дію різних апаратів та пристроїв локомотивів і гальмівної магістралі потяга завжди використовується стиснене повітря.

Компресори – це пристрої для створення направленого потоку газу під тиском. Компресорні установки досить поширені, вони широко використовуються на залізничному транспорті, в холодильних установках, в пневматичних пристроях [2].

Допоміжні компресори потрібні для наповнення стисненим повітрям пневматичних магістралей, наприклад, головного повітряного вимикача, блокування щитів високовольтної камери і піднімання струмоприймача при відсутності стисненого повітря в головних резервуарах і резервуарі струмоприймача після довгої стоянки рухомого складу в неробочому стані.

Компресори спрощено складаються з:

- електродвигуна або приводу;
- нагнітаючої установки;
- ємностей для стисненого газу;
- сполучних шлангів і труб.

Електродвигуни, що використовуються в компресорних установках, можуть бути постійного і змінного струму. Двигуни змінного струму діляться на синхронні і асинхронні (АД). Асинхронні двигуни в свою чергу на АД з короткозамкненим ротором і АД з фазним ротором.

Для асинхронні двигунів з короткозамкненим ротором перевагами для їх установки в компресорі є їх економічність, простота, зручність конструкції і велика надійності роботи. Їх недоліки – це пусковий струм, який в 5 – 7 разів перевищує номінальний струм двигуна і малий пусковий момент.

Асинхронні двигуни з фазним ротором використовують набагато рідше (в основному у відцентрових насосах). Вони використовуються в малопотужних мережах або якщо потрібен значний пусковий момент (при відносно невеликому

пусковому струмі). Але у них складна пускорегульовальна апаратура і потрібен догляд за щітками і кільцями.

Синхронні двигуни використовуються в компресорах великої потужності (більше 100 кВт). У них дуже високий коефіцієнт потужності ($\cos\varphi \approx 1$) і вони не дуже сприйнятливі до змін навантаження. Але в той же час вони значно дорожчі за асинхронні двигуни і при пуску у них спостерігаються ті ж недоліки що і у АД з короткозамкненим ротором.

Лінійні електроприводи бувають електромагнітними, магнітоелектричними і індукційними. Вони застосовуються здебільшого при невеликих поршневих зусиллях і при малому ході поршня.

Нагнітаючі пристрої – це пристрої, які під дією сили, прикладеної від приводу, нагнітають газ в спеціальні ємності, які здатні витримати той тиск, що може створити компресор.

Компресорна установка забезпечує управління локомотивом та потягом. За допомогою стислого повітря виконується гальмування потяга [3].

Компресори разом з головними резервуарами локомотива повинні відповідати наступним основним вимогам:

- повністю забезпечувати потребу в стислому повітрі в потязі при його найбільш допустимій витраті;
- володіти необхідною продуктивністю і створювати потрібний тиск в головних резервуарах за встановлений час;
- забезпечувати температуру стисненого повітря, що подається в гальмівну магістраль не більше ніж на 20 °С порівняно з температурою навколишнього середовища;
- виключити попадання конденсату і оливи в гальмівну магістраль і повітряні резервуари;
- здійснювати повне відпускання гальм при непрацюючому компресорі після повного службового гальмування або екстреного гальмування тільки за рахунок запасу стисненого повітря в головних резервуарах;

- володіти високою надійністю (0,003 відмови на 1 тис. годин роботи), низьким питомим енергоспоживанням (не більше 8 кВт на стисання 1 м³/хв) і питомою масою не більше 70 кг (без двигуна) на 1 м³/хв подачі компресора,

Компресори повинні повністю забезпечувати потребу в стисненому повітрі при максимальних витратах і витоках його в потягу. Щоб уникнути неприпустимого нагріву режим роботи компресора встановлюється повторно-короткочасним. При цьому тривалість вмикання компресора під навантаженням допускається не більше 50%, а тривалість циклу до 10 хв.

Компресори, застосовані на рухомому складі, як правило, є поршневыми, двоступеневими. Стиснення повітря в них відбувається послідовно в двох циліндрах з проміжним охолодженням між ступенями [13].

Використовувані в даний час на рухомому складі поршневі компресори по ряду показників не відповідають пред'явленим ним вимогам і морально застаріли.

На рухомому складі знос компресорного устаткування досяг критичного рівня, і зі всією гостротою встає питання про його заміну.

Для вирішення цієї проблеми необхідно дати відповідь на два питання:

- який тип компресора використовувати;
- яка загальна концепція забезпечення повітрям.

Перспективними в цьому плані є широко вживані у нас і за кордоном гвинтові компресори.

Поява гвинтових (ротаційних) оливозаповнених шумозаглушених компресорів витіснила в промислово-розвинених країнах поршневі компресори в діапазоні продуктивності від 1 до 100 м³/хв з області забезпечення виробництв стисненим повітрям з тиском до 15 атмосфер. У порівнянні з поршневими і відцентровими, гвинтові компресори володіють цілим рядом переваг:

- мають низький рівень шуму і вібрації, малі габарити і вагу і можуть встановлюватися безпосередньо на локомотивах, в цехах, де споживається повітря, не вимагають для цього спеціального фундаменту;

- практично не мають витрати оливи (2-3 мг³/м³), на відміну від крупних поршневих компресорів з лубрикаторним мастилом, відповідно і якість повітря

гвинтових компресорів на порядок вище і дозволяє використовувати їх для живлення найсучаснішого пневмообладнання;

- оснащені автоматичною системою управління і контролю працездатності, а тому безпечні, не вимагають спостереження за їх роботою, володіють великою надійністю, здатні на тривалу роботу без обслуговування;

- мал шумність гвинтових компресорів, особливо невеликої продуктивності, достатньої, як правило, для живлення конкретного електровоза.

1.2 Будова і робота установки

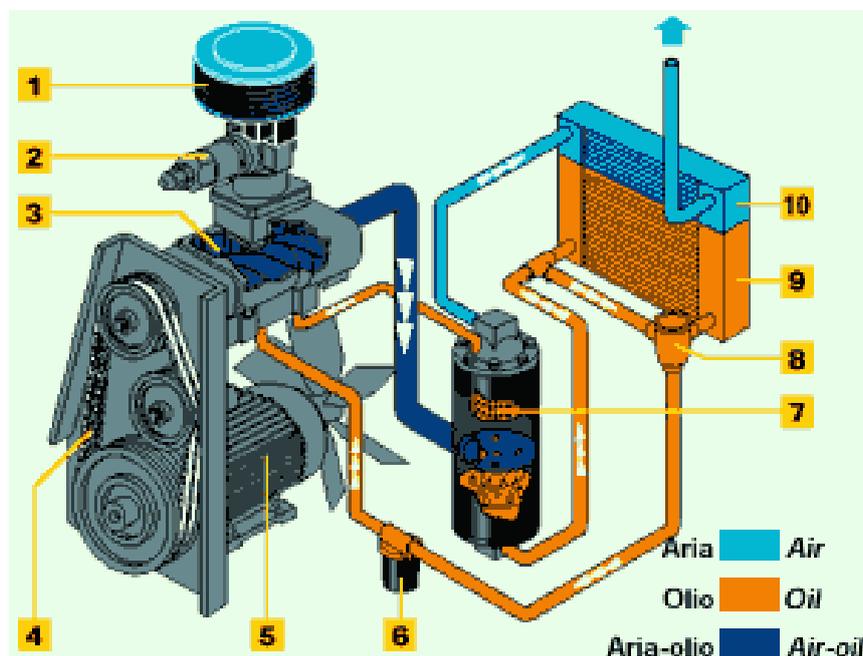


Рисунок 1.1 – Схема роботи гвинтового компресора

Компресорна установка виконана на базі гвинтового одноступінчатого оливозаповненого компресора типу CF75EG1. Виконання установки блокове, що забезпечує її швидкий монтаж і введення в експлуатацію (рис. 1.1).

Складові частини гвинтового компресора:

1. Всмоктуючий повітряний фільтр забезпечує очищення повітря, що поступає в компресор, з навколишнього середовища і складається звичайно з двох частин: попереднього прямокутного фільтру, встановленого безпосередньо на корпусі компресора в місці огорожі повітря і фільтру, що встановлюється перед всмоктуючим клапаном.

2. Всмоктуючий клапан призначений для регулювання продуктивності компресора (зазвичай має два положення - відкрито-закритий, регулювання - переходом на холостий хід; зустрічаються пропорційні клапани). Має пневматичне управління.

3. Гвинтовий блок є основою гвинтового компресора, представляє з себе два ротори виконаних на основі високоточної технології механообробки, встановлені усередині корпусу.

4. Пасова передача являє собою два шківни, один на двигуні, а інший на гвинтовій парі, що задають швидкість обертання роторів. Для одного і того ж електродвигуна зміна передавального числа зменшує швидкість обертання гвинтової пари, але збільшує зусилля, що прикладається. Технічні характеристики компресора міняються при цьому таким чином: чим вища швидкість обертання, тим більша продуктивність, але максимальний робочий тиск при цьому нижчий (це пов'язано з ресурсом підшипників гвинтової пари і потужністю приводного двигуна). У могутніх компресорних установках застосовується редуктор або пряма передача через муфту.

5. Електродвигун обертає гвинтову пару через пасовий привід, редуктор, або муфту.

6. Оливний фільтр призначений для очищення оливи перед поверненням в гвинтову пару.

7. Оливодідільник являє собою металевий бак спеціальної форми. У середині бака знаходиться металева перегородка з отворами. Очищення повітря від мастила відбувається спочатку під впливом відцентрової сили при закручуванні потоку і спеціальним оливодідільним фільтром. Завдяки комплексній системі очищення вдається добитися мінімального залишку масляної пари на виході компресора, рівного 3 мм. рт. ст.

8. Термостат забезпечує температурний режим. Поки олива не досягла температури 72 градуси, він пропускає її минувши охолоджуючий радіатор, і тим самим прискорює вихід компресора на оптимальну температуру. Крім того, при низькій температурі компресора можливо небажане утворення конденсату.

9. Оливоохолоджувач призначений для охолодження гарячої оливи після відділення її від стислого повітря.

10. Кінцевий повітроохолоджувач призначений для охолодження стислого повітря перед подачею його на споживача. Забезпечує температуру на виході на 15-20 °С вище за температуру навколишнього середовища.

В конструкції передбачений запобіжний клапан, який є пристроєм безпеки і спрацьовує у разі перевищення тиску в баку оливовіддільника вище за максимальне значення. Система трубопроводів має три контури: повітряний, оливний, і легко-оливної суміші. Також передбачене реле тиску, яке задає параметри роботи компресора по тиску. Компресор досягає заданого максимального тиску, після чого переходить в режим холостого ходу, а після того, як тиск падає до заданого мінімального тиску, знов включається. Як правило, в реле тиску регулюються два параметри: максимальний тиск і дельта, тобто різниця між максимальним і мінімальним тиском. У нових моделях компресорів реле тиску не використовується, а застосовується система електронного управління. Блок електронного управління і контролю компресора забезпечує управління його роботою, передачу на дисплей робочих параметрів, а також захист від небажаних явищ. В деяких конструкціях передбачений вентилятор, що здійснює забирання повітря з навколишнього середовища і одночасно охолодження електродвигуна, радіаторів і гвинтової пари.

При роботі установки атмосферне повітря через повітряний фільтр, обладнаний індикатором засміченості, і всмоктуючий клапан поступає в компресор (рис. 1.2), куди одночасно поступає олива, необхідна для охолодження повітря, що стискається, ущільнення зазорів між робочими органами компресора - роторами, мастила підшипників і відведення тепла від них. У компресорі утворюється оливо-повітряна суміш, яка стискається до встановленого робочого тиску і потім подається в оливовіддільник.

У оливовіддільнику повітря очищається від масла і потрапляє на лінію роздачі, де встановлений клапан мінімального тиску, блок охолодження повітря

і циклон-сепаратор. Споживачу повітря подається через вентиль. Видалення конденсату здійснюється автоматично.

Олива, що відокремилася від повітря в оливо віддільнику, поступає в блок оливоохолоджувача, де охолоджується потоком повітря, створюваним вентилятором. Далі охолоджена олива очищається в оливному фільтрі, звідки через регулювальний вентиль поступає в порожнину всмоктування і для мастила підшипників роторів з боку всмоктування, ущільнення зазорів і відведення тепла. По другій гілці олива поступає на змащування підшипників роторів з боку нагнітання.

На лінії подачі оливи встановлений оливний бак, що забезпечує підмішування оливи і перепускання мимо блоку охолодження оливи при низькій початковій температурі оливи в холодну пору року.

Подачу необхідної кількості оливи при роботі на номінальному режимі настроюють регулювальним вентилем. Олива, що накопичилася у фільтрі-сепараторі масловіддільника, повертається в компресор через зворотний клапан і штуцер відведення масла в порожнину всмоктування.

Система автоматичного регулювання продуктивності включає клапан всмоктувальний, клапан стравлювання, вентиль регулювальний стравлювання, клапан перекидний логічний, фільтр вологовіддільник, електропневматичний розподільник і регулятор тиску. Система автоматичного регулювання продуктивності призначена для управління роботою установки при пуску і зупинці, роботою в режимі холостого ходу і регулювання продуктивності при нерівномірному режимі споживання стислого повітря.

Для контролю тиску оливи, оливоповітряної суміші, перепадів тиску встановлені датчики тиску. Місця відбору тиску вказані на схемі. Для контролю температури оливи, оливоповітряної суміші і повітря головної магістралі встановлені термометри опору. Для контролю рівня оливи застосований датчик рівня.

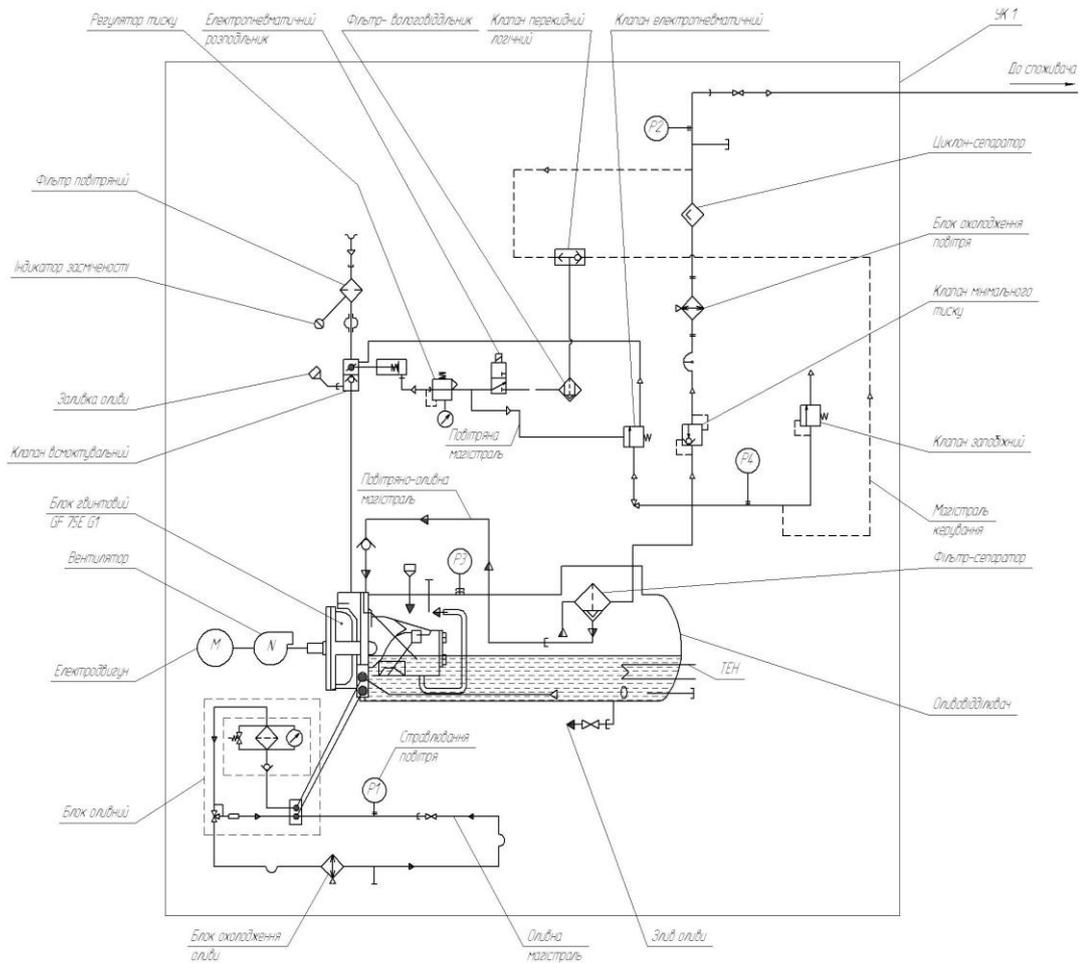


Рисунок 1.2 – Комбінована схема роботи компресора

1.3 Постановка задач на кваліфікаційну роботу

Метою даної кваліфікаційної роботи є модернізація системи керування компресором. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати недоліки електроприводу, який стандартно використовується на електровозі;
- розрахувати параметри наново встановлюваної установки;
- модернізувати схему керування електроприводом компресорної установки розрахувати та вибрати силові елементи системи;
- перевірити модернізовану систему на якість та стійкість.

2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок параметрів компресорної установки

Для визначення необхідної продуктивності компресорних установок і об'ємів головних резервуарів спочатку необхідно визначити загальну годинну витрату стислого повітря в потязі

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{гальм}} + Q_{\text{вт}} + Q_{\text{вт}}^{\text{ГР}} + Q_{\text{ін}}, \quad (2.1)$$

де $Q_{\text{гальм}}$, $Q_{\text{вт}}$, $Q_{\text{вт}}^{\text{ГР}}$ и $Q_{\text{ін}}$ – витрата повітря відповідно на гальмування, витоки з гальмівної мережі, витоки з головного резервуару і витрату на власні потреби, м³/год.

Останні дві витрати залежать від типу локомотива і як середньомережеві відомі:

На електровоз

$$Q_{\text{вт}}^{\text{ГР}} = 0,0042 \times 1,8 \times 60 = 0,45 \text{ (м}^3\text{/год.)},$$

тому приймаємо із запасом 0,5 м³/год.

При нормативі витікання 0,05 МПа за 12 хв.

$Q_{\text{ін}} = 12 \text{ м}^3\text{/год}$ або $0,2 \text{ м}^3\text{/хв}$ – витрати повітря на службові потреби локомотива.

Витрату повітря на гальмування визначаємо по формулі

$$Q_{\text{гальм}} = 10 \times \Delta P_{\text{М}} V_{\text{ГМ}} n, \quad (2.2)$$

де $\Delta P_{\text{М}}$ – глибина розрядки гальмівної магістралі при регульовальному гальмуванні, МПа (рівна 0,15 – 0,17 МПа);

$V_{\text{ГМ}}$ – об'єм гальмівної мережі потяга, м³;

n – число гальмувань за 1 годину, приймаємо 6 – 10 гальмувань.

$$V_{\text{ГМ}} = V_{\text{М}} + V_{\text{зр}} + V_{\text{рк}} + V_{\text{зк}}, \quad (2.3)$$

де $V_{\text{М}}$ – об'єм магістрального повітропровода,

$$V_{\text{М}} = 0,0115 \times (400:4) = 1,15 \text{ (м}^3\text{)};$$

$V_{\text{зр}}$ – об'єм запасних резервуарів в потязі,

$$V_{\text{зр}} = 0,078 \times (400:4) = 7,8 \text{ (м}^3\text{)};$$

$V_{\text{рк}}$, $V_{\text{зк}}$ – об'єм відповідно робочих и золотникових камер повітрерозподілювачів в потязі,

$$V_{pk} = 0,006 \times (400:4) = 0,6 \text{ (м}^3\text{) і}$$

$$V_{zk} = 0,0045 \times (400:4) = 0,45 \text{ (м}^3\text{)}.$$

$$V_{gm} = 1,15 + 7,8 + 0,6 + 0,45 = 10 \text{ (м}^3\text{)}$$

Витрати повітря на гальмування

$$Q_{гальм} = 10 \times 0,17 \times 10 \times 7 = 119 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Витрату повітря на витіки з гальмівної системи потягу знаходимо по формулі

$$Q_{вт} = 600 \times \Delta P_{вт} V_{gm}, \quad (2.4)$$

де $\Delta P_{вт}$ – допустиме зниження тиску у гальмівній магістралі вагона за 1 хвилину (0,02 МПа/хв).

Приймаємо, що об'єм гальмівної магістралі чотирьохосьового вагона складає –100 літрів або 0,1 м³, а в складі потягу з 400 осей об'єм гальмівної магістралі складає

$$V_{gm} = 100 \times (400 : 4) = 10000 \text{ літрів або } 10 \text{ м}^3.$$

З об'єма 0,1 м³ гальмівної магістралі чотирьохосьового вантажного вагона втрата повітря складає :

$$\Delta P_{вт} = 0,1 \times 0,2 = 0,02 \text{ м}^3\text{/хв, а на одну ось } 0,02:4 = 0,005 \text{ м}^3\text{/хв.}$$

$$Q_{вт} = 600 \times 0,02 \times 10 = 120 \text{ (м}^3\text{/рік)}$$

Загальна годинна витрата стислого повітря складає:

$$Q_{заг} = 119 + 120 + 0,5 + 12 = 251,5 \text{ (м}^3\text{/рік)}$$

Необхідну продуктивність компресора $Q_{ком}$ розраховуємо по наступній формулі (м³/хв)

$$Q_{ком} = \mu \times Q_{вт} / 60, \quad (2.5)$$

де μ - коефіцієнт, який враховує відношення часу подачі компресором повітря до часу усього циклу – подачі плюс холостий хід або зупинка ($\mu = 1,3 - 1,5$);

Розраховуємо необхідну подачу компресорів:

$$Q = 1,5 \times 251,5 / 60 = 6,29 \text{ (м}^3\text{/хв)}$$

За умов забезпеченням стислим повітрям і нормального режиму роботи компресорів склад потяга в 400 осей може вести двухсекційний електровоз при наявності компресора с подачею не менше 3,15 м³/хв на кожній секції.

Щоб гарантувати відпустку і зарядку гальм з урахуванням заповнення запасних резервуарів за 4 хвилини після повного службового і за 5 хвилин після екстреного гальмування для довгоскладених потягів (400 осей) двічі, для цих випадків виконуємо наступний додатковий розрахунок

$$Q_{\text{ком}} = \frac{\Delta P_M V_M + \Delta P_{PK} V_{PK} + \Delta P_{ЗК} V_{ЗК} + \Delta P_{YT} V_{TC} t_{OT} + V_{ЗР} (P_{ЗР} - P'_{ЗР}) - \Delta P_{ГР} V_{ГР}}{0,1 t_{OT}}, \quad (2.6)$$

де ΔP_M – глибина розрядження гальмівної магістралі при повному службовому гальмуванні і екстреному гальмуванні відповідно 0,15 – 0,17 МПа та 0,53 – 0,55 МПа;

ΔP_{PK} – зниження тиску в робочих камерах повітрерозподілювачів (0,05 – 0,06 МПа);

$\Delta P_{ЗК}$ – зниження тиску в золотникових камерах повітрерозподілювачів (при повному службовому гальмуванні 0,15 – 0,17 МПа, при екстреному гальмуванні 0,53 – 0,55 МПа);

$P_{ЗР}$ – тиск в запасних резервуарах (0,53 – 0,55 МПа);

$P'_{ЗР}$ – мінімальний тиск в запасних резервуарах при гальмуванні - 0,4 МПа);

$\Delta P_{ГР}$ – допустимий перепад тиску в головних резервуарах (після повного службового гальмування – 0,12 МПа, після екстреного гальмування – 0,3 МПа);

t_{OT} – час відпускання після повного службового гальмування – 4 хв, після екстреного гальмування – 5 хв.

$$Q_{\text{ком}} = 1,7 \times 0,55 + (0,006 \times 0,06) + (0,0045 \times 0,55) \times 400 + 0,005 \times 8 + 0,078(0,55 - 0,4) - 0,12 \times 1,8 / 0,1 \times 5 = 3,81 \text{ (м}^3\text{/хв)}$$

$$\Delta P_{\text{МСЛ}} = \frac{P_M V_{Ц}}{V_{ЗР} + V_{Ц}} + 0,005. \quad (2.7)$$

Обидва розрахунки повинні дати менший результат в порівнянні з сумарною продуктивністю раніше вибраних компресорних установок.

За довідковими даними виробника проводимо підбір компресорної установки з сумарною продуктивністю, що незначно перевищує одержану по розрахунку.

Таблиця 2.1 – Характеристики компресорних установок

Марка	Максимальний тиск, МПа	Продуктивність, м ³ /хв	Споживаємо потужність компресора, кВт	Споживаємо потужність	Споживаємо потужність двигуна, кВт	Напруга двигуна, В	Кількість заправленої оливи, літри	Маса, кг	Габарит (Д.Ш.В), мм
ВВ-1,5/9	0,9	1,5	13	15	15	220 або		420	1020×900×1190
ВВ-5/9 У1	10	5	41	43	45	380		890	1900×950×950
ВВ-7/10С	1,06	7	56	58	75	380 або	60	2500	3000×2000×2000
ВВ-8/10С	1,06	8	64	66		660			
ВВ-9/10С	1,06	9	72	74					

Вибираємо установку компресорну типу ВВ – 5/9 У1

Основні параметри і розміри приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики компресорної установки ВВ – 5/9 У1

Найменування показника	Величина
1	2
Газ, що стискається	Атмосферне повітря
Тип компресора	Гвинтовий, одноступінчастий, маслозаповнений
Марка компресора	GF75EG1
Об'ємна продуктивність, м ³ /хв	5±0,25
Робоча продуктивність, м ³ /хв	5±0,5
Тиск початковий, номінальний, МПа (кгс/см ²)	0,101 (1,03)
Тиск кінцевий, номінальний, МПа (кгс/см ²)	0,98(10,0)
Потужність, споживана при номінальній продуктивності і кінцевому тиску, кВт:	
- компресорним блоком	37±2
- установкою компресорною	41±2
Перевищення кінцевої температури повітря щодо температури всмоктуючого повітря °С, не більше	15
Температура маселовоздушної суміші, До (°С)	373 (100)
Охолодження масла компресора і стислого повітря	повітря
Кількість масла, що заливається в установку, л	40
Електродвигун компресора, тип	5A200L2
Потужність, кВт	45
Напруга, В	380
Частота обертання валу, об/хв	2950
Габаритні розміри, мм, не більше:	
- довжина	1900
- ширина	860
- висота	950
Маса компресорної установки, кг	890

2.2 Вибір та перевірка вибору електродвигуна компресора

2.2.1 Мета вибору електродвигуна

Переваги АД можуть бути повністю реалізовані лише за умови правильного вибору і застосування електродвигуна. Від правильного вибору електродвигуна по потужності залежать надійність його роботи в складі електромеханічної системи і енергетичні показники в процесі експлуатації. При установці електродвигуна із зайвою потужністю невиправдано зростають габарити системи, її маса, вартість, погіршуються енергетичні показники. При установці електродвигуна недостатньої продуктивності - збільшенню втрат і часу виходу на робочий режим.

Тому потужність електродвигуна повинна вибиратися в суворій відповідності з режимом роботи і навантаженням.

Проте при розрахунку не завжди виявляється, що одержана потужність є стандартною. І в цьому випадку необхідно вибрати електродвигун найближчого більшого значення.

Отже, метою вибору електродвигуна є, по-перше, визначення технічної можливості застосування двигуна і, по-друге, знаходження найкращого варіанту з технічно можливих по каталогах, враховуючи рід струму і напругу, конструктивне виконання, рівень шуму і вібрації, режим роботи, потрібну частоту обертання.

2.2.2 Вибір електродвигуна для приводу компресора

2.2.2.1 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна компресора

Потужність електродвигуна P , кВт, визначаємо згідно формули

$$P = \frac{k_3 \cdot Q \cdot A}{102 \cdot \eta_k \cdot \eta_n} \quad (2.8)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу;

Q – продуктивність, м³/с;

A – робота стиснення, кгм/м³;

η_k – ККД компресора;

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі.

Роботу A , кг·м/м³, для стиснення повітря визначаємо по формулі

$$A = 2,3 \cdot 10^3 \cdot p_1 \cdot \lg\left(\frac{p_2}{p_1}\right), \quad (2.9)$$

де p_1 – початковий тиск, ат;

p_2 – кінцевий тиск, ат.

Коефіцієнт корисної дії компресора приймаємо

$$\eta = 0,85 - 0,9.$$

Коефіцієнт запасу для даного типу компресора

$$K_3 = 1,1 - 1,2.$$

Коефіцієнт корисної дії передачі приймаємо рівним

$$\eta = 0,9,$$

$$A = 2,3 \cdot 10^3 \cdot 1,03 \lg\left(\frac{10}{1,03}\right) = 2338 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{м}^3,$$

$$P = \frac{1,2 \cdot 0,1 \cdot 2338}{102 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 5 \text{ кВт}.$$

Потужність електродвигуна для компресора P_d , кВт визначаємо згідно формули

$$P_d = \frac{P}{\eta_{\text{мех}}} \quad (2.10)$$

де $\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД.

Механічний ККД приймаємо

$$\eta_{\text{мех}} = 0,7$$

$$P_d = \frac{5}{0,7} = 7,12 \text{ кВт}.$$

Таким чином, розрахунок показує, що для електроприводу компресора можемо вибрати електродвигун значно меншої потужності типу АИРУ112М2, характеристики якого приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні дані двигуна АИРУ112М2.

Тип двигуна	P_H , кВт	Ков- зання, %	n_H , об/хв	η , %	$\frac{M_{max}}{M_i}$	$\frac{M_{min}}{M_i}$	$\cos \varphi$	Маса, кг
АИРУ112М2	7,5	3,5	1500	87,5	2,5	1,9	0,88	49

Переходимо до перевірки електродвигуна на перевантажувальну здатність, пуск при зниженні напруги мережі на 10% і пуск при повному навантаженні та побудуємо механічну характеристику асинхронного двигуна за допомогою спрощеної формули Клосса:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (2.11)$$

де M_k - критичний (максимальний) момент двигуна, Нм;

S - ковзання, яке відповідає даному моменту;

S_k - критичне ковзання.

Критичний момент визначається за формулою:

$$M_k = M_H \cdot \lambda, \quad (2.12)$$

де M_H - номінальний момент двигуна, Нм;

λ - перевантажувальна здатність двигуна.

Номінальний момент двигуна можна визначити наступним чином:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (2.13)$$

де P_H - номінальна потужність двигуна, Вт;

ω_H - номінальна частота обертів ротора електродвигуна, c^{-1} .

Номінальну частоту обертів ротора електродвигуна можна знайти за наступною формулою:

$$\omega_H = \frac{\omega_0 \cdot (100\% - S_H)}{100\%}, \quad (2.14)$$

де S_H - номінальне ковзання двигуна, %;

ω_0 - синхронна частота обертання ротора двигуна, c^{-1} .

$$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157c^{-1} \quad (2.15)$$

$$S_H = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0,03 \text{ або } 3\% \quad (2.16)$$

Знаходимо номінальну частоту обертів ротора двигуна:

$$\omega_H = \frac{157 \cdot (100 - 3)}{100} = 152,29c^{-1}$$

Визначаємо номінальний момент:

$$M_H = \frac{7,5 \cdot 10^3}{152,29} = 49,248 \text{ Нм}$$

Тоді критичний момент буде рівний:

$$M_K = 49,248 \cdot 2,5 = 123,12 \text{ Нм}$$

Критичне ковзання знайдемо за формулою:

$$S_k = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \quad (2.17)$$

$$S_k = 0,03 (3 + \sqrt{3^2 - 1}) = 0,174$$

Таким чином, формулу (2.11) можна записати так:

$$M = \frac{147,744}{\frac{S}{0,174} + \frac{0,174}{S}}$$

Результати розрахунку по формулі (2.11) наведені в таблиці 2.4.

Але, відомо, що формула Клосса описує реальну механічну характеристику асинхронного двигуна не досить точно, особливо в області ковзання, вище критичного. Тому механічну характеристику можна побудувати по її характерним точкам розмірковуючи наступним чином:

- характерними точками кривої в координатах (n, M) є:

1. Точка холостого ходу $(0, 0)$;
2. Точка номінального режиму (n_H, M_H) ;
3. Точка максимального момента (S_k, M_k) ;
4. точка пускового моменту $(1, M_n)$;

Таблиця 2.4 – Розрахунок механічної характеристики двигуна

S	M, Нм	n, об/хв
0.03	49.248	1455
0.1	63.82	1350
0.174	147.744	1239
0.3	64.12	1050
0.4	54.04	900
0.5	45.86	750
0.6	39.52	600
0.7	34.58	450
0.8	30.69	300
0.9	27.53	150
1	24.95	0

Побудуємо механічну характеристику (рис. 2.2):

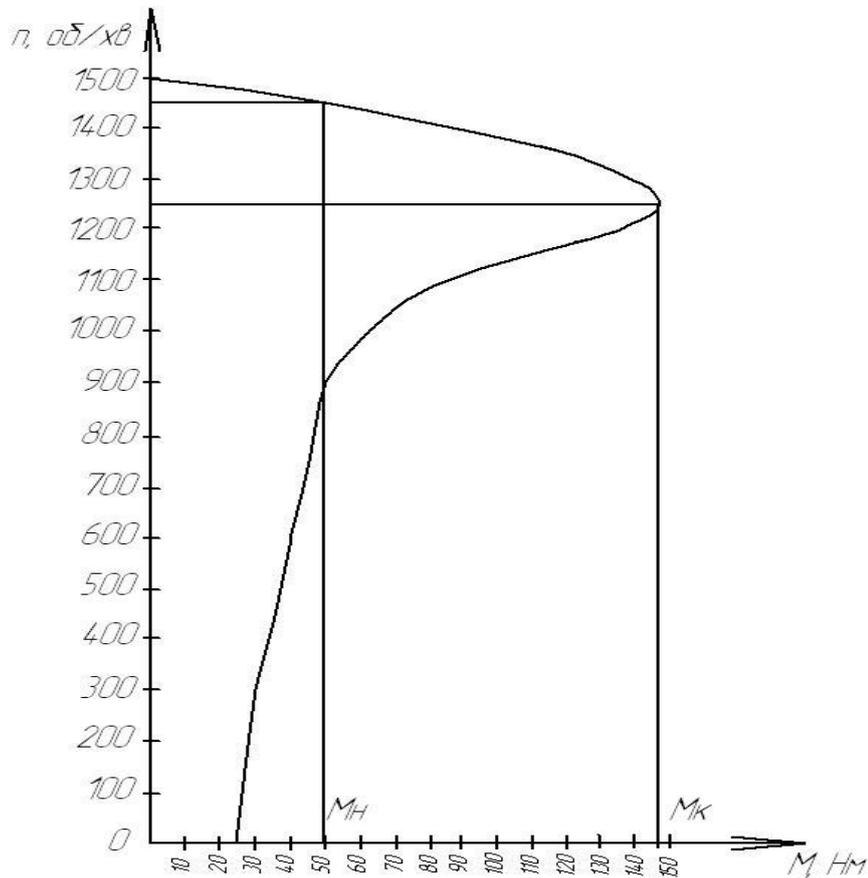


Рисунок 2.2 – Механічна характеристика двигуна

Необхідно виконати перевірку двигуна на перевантажувальну здатність, адже для правильної роботи привода потрібно, щоб виконувалась наступна умова:

$$M_{н.макс} < M_k, \quad (2.18)$$

де $M_{н.макс}$ - максимальний момент на валу насоса;

M_k - максимальний момент, що розвивається двигуном, Нм.

Максимальний момент розраховується за формулою:

$$M_{н.макс} = 1.5 \cdot M_{н.ст} \quad (2.19)$$

$$M_{н.ст} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot \omega}, \quad (2.20)$$

де ω - частота обертання робочого органу, c^{-1} , приймаємо рівній номінальній частоті обертання електродвигуна: $\omega_H = 152.29c^{-1}$

Тоді:

$$M_{н.ст} = \frac{1090 \cdot 9.81 \cdot 0.056 \cdot 10}{0.9408 \cdot 152.29} = 41.79 \text{ Нм};$$

$$M_{н.макс} = 1.5 \cdot 41.79 = 62.69 \text{ Нм}$$

Критичний момент двигуна був визначений при побудові механічної характеристики:

$$M_k = 147.744 \text{ Нм}$$

Таким чином умова (2.8) виконується:

$$62,69 < 147,744$$

Для забезпечення нормального пуску привода необхідно виконувати наступну умову:

$$M_{п.н} < M_{п.д}, \quad (2.21)$$

де $M_{п.н}$ - пусковий момент на валу насоса, Нм;

$M_{п.д}$ - пусковий момент двигуна, Нм.

Пуск повинен бути забезпечений при можливому допустимому зниженні напруги живлячої мережі. Допустимим вважається зниження напруги на 10%, тобто в такому випадку напруга в мережі буде складати 0,9 від номінальної.

Відомо, що при зниженні живлячої напруги в A разів, момент на валу асинхронного двигуна знизиться в A^2 разів і буде складати при пониженій напрузі 0,81 величини пускового моменту при нормальній напрузі мережі:

$$M_{п.д} = 2.2 \cdot 0.81 \cdot M_H$$

$$M_{п.д} = 2.2 \cdot 0.81 \cdot 49.248 = 87.76 \text{ Нм.}$$

Пусковий момент насоса складає в середньому 0.3 від номінального моменту на його валу.

$$M_{п.н} = 0.3 \cdot M_{н.ст} ; \quad (2.22)$$

$$M_{п.н} = 0.3 \cdot 41.79 = 12.54 \text{ Нм}$$

Таким чином, умова (2.10) виконується:

$$12.54 < 87.76,$$

тобто вибраний двигун задовольняє дану умову перевірки.

Також виконується умова і по номінальному моменту під час пуску:

$$41.79 < 87.76.$$

2.3 Схема керування компресорною установкою

Схема компресорної установки (далі по тексту КУ) вибрана виходячи з логіки функціонування компресорної установки ВВ-5/9 У1 на електровозі ВЛ80Т (рис. 2.3).

Електроживлення компресорної установки здійснюється від обмотки ХЗ-А3 власних потреб тягового трансформатора. Змінна напруга -380 В подається від контактора КМ 13 через контакти теплових реле КК13, КК14 в пульт керування КУ, який управляє приводним електродвигуном. Пульт керування розміщений безпосередньо на компресорній установці і містить свої контактори, через які одержують електроживлення приводний електродвигун і інші ланцюги компресорної установки. У пульті керування встановлений контролер "Комконт", який обробляє вхідні аналогові і дискретні сигнали і видає сигнали, що управляють, на виконавчі пристрої, якими є пускачі електродвигунів, електромагнітні клапани і сирена звукового сповіщення.

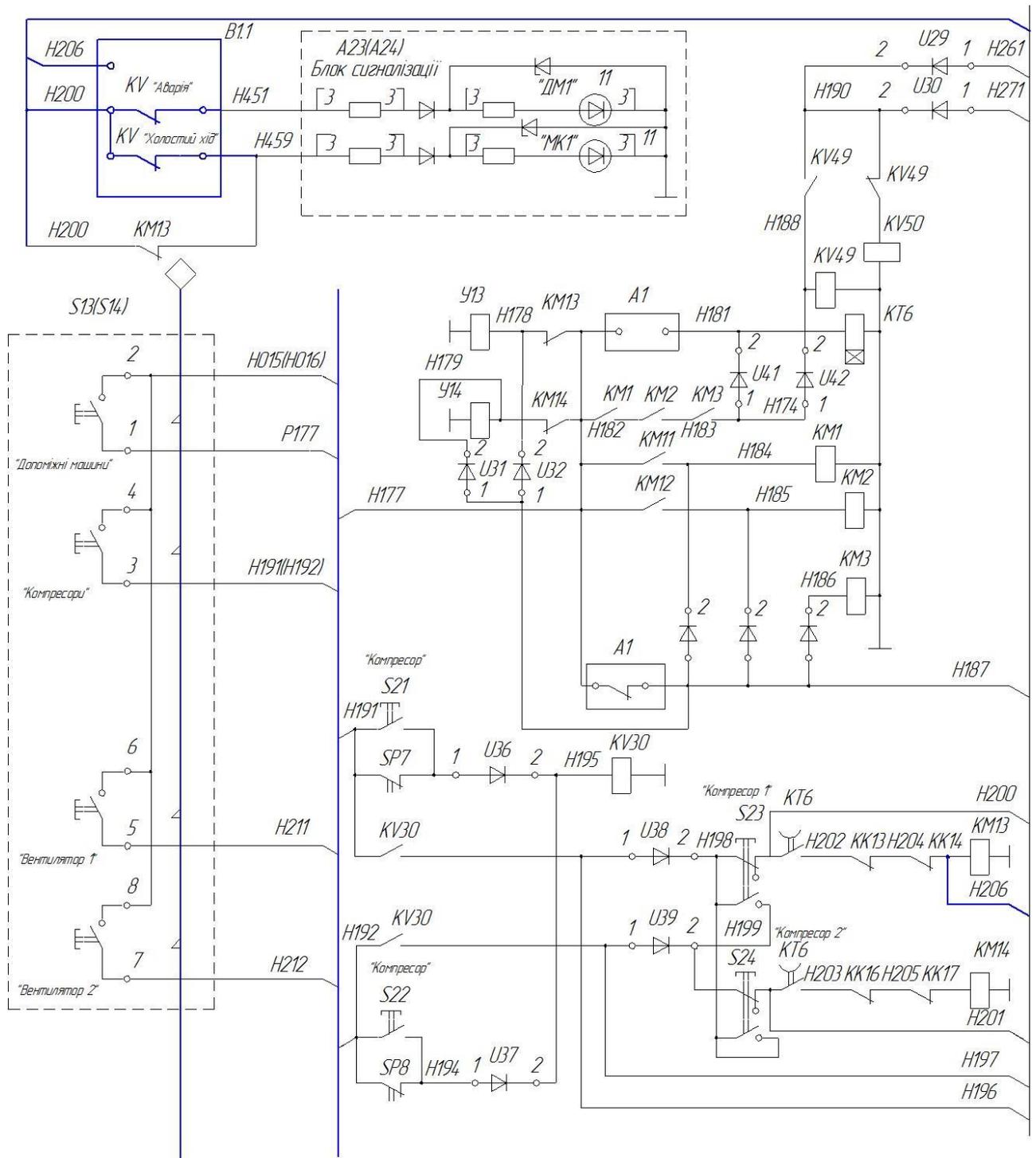


Рисунок 2.3 – Схема електрична принципова керування компресорною установкою

При сталих режимах перетворення числа фаз здійснюється за допомогою симетрувальних конденсаторів, які розподілені таким чином, що при будь-якому довільному порядку включення величина симетрувальної ємності близька до оптимальної. При пускових режимах ці симетрувальні конденсатори за

допомогою контакторів КМ1, КМ2, КМ3, КМ14 підключаються до збірних шин фаз С1, С2, С3. Цим забезпечується збільшення пускового моменту електродвигуна, що включається першим, на номінальну частоту обертання. Як датчик закінчення процесу пуску і появи трифазної системи напруги на збірних шинах С1 С2, С3 служить реле контролю напруги (в панелі А1), налаштоване на напругу ввімкнення $300 \text{ В} \pm 50 \text{ В}$. Коефіцієнт повернення реле прийнятий рівним 0,8. При пусках подальших машин реле залишається включеним. Необхідний пусковий момент електродвигунів, що знов включаються, забезпечується завдяки раніше включеним машинам, що виконують функції "розчеплювача фаз".

Від струмових перевантажень компресорна установка захищена тепловими реле КК13, КК14, при спрацьовуванні яких відключається відповідний контактор КМ 13. Оскільки в компресорній установці застосовується мастило з дуже низькою температурою застигання (нижче мінус 45° C), підігрів мастила не проводиться.

Управління включенням і виключенням компресорної установки ВВ-5/9 У1 проводиться з пульта машиніста в повній відповідності з логікою роботи схеми електровоза. При цьому команда на пуск-зупинку компресорної установки подається в її пульт управління по проводу Н206 від котушки контактора КМ 13. Наявність напруги плюс 50 В у проводі Н206 є командою на пуск компресорної установки і її функціонування в робочому режимі. Зняття напруги плюс 50 В з проводу Н206 означає команду на виключення КУ.

При підготовці компресорної установки до пуску заздалегідь повинна бути включена рукоятка "Допоміжні машини" вимикача S13 (S14). При цьому через контакти реле контролю напруги (панель А1), діоди панелей U33, U34, U35 (позначено 2) подається напруга на котушки електромагнітних контакторів КМ1-КМ3. Включившись, контактори замикають ланцюг живлення котушки реле часу КТ6. Реле включається, замикаючи свої контакти в ланцюгах живлення котушок електромагнітних контакторів КМ11-КМ14, забезпечуючи можливість пуску першої з допоміжних машин за умови, що в її ланцюг включені всі вищезгадані конденсатори. Щоб виключити можливість дзвінкової роботи, контакторів

КМ11-КМ13, при ввімкненні вентиляторів під час відключення компресорів і виключити можливість роботи, дзвінка контактора КМ14 при ввімкненні компресора під час відключення вентиляторів, реле часу КТ6 виконане із затримкою на відключення 1,0 — 1,5 с. Діоди панелей U33, U34 виключають подачу напруги на дріт НІ87 від дротів НІ84, НІ85 після включення реле контролю напруги панелі А1 при пуску машин, виключаючи тим самим паразитний зв'язок між дротами НІ84, НІ85.

При ввімкненні вимикача "Компресори" через контакти датчиків-реле тиску SP7, SP8 подається напруга на котушку реле KV30, яке своїми контактами включає електромагнітний контактор КМ13, здійснюючи пуск компресорної установки.

В процесі пуску напруга між фазами С2 і С3 збільшується і, досягши значення $300 \text{ В} \pm 50 \text{ В}$, контактори КМ1-КМ3 відключаються, розмикаючими контактами реле контролю напруги панелі А1, відключаючи симетрувальні конденсатори. Реле КТ6 залишається включеним, одержуючи живлення через замикаючі контакти реле контролю напруги.

Досягши тиску повітря в живильній магістралі $0,900 \text{ МПа} \pm 0,025 \text{ МПа}$ контакти датчика-реле тиску SP7 (SP8) розмикаються, відключаючи реле KV30, останнє відключає контактор КМ13, компресор при цьому зупиняється.

При зниженні тиску повітря в живильній магістралі до $0,750 \text{ МПа} \pm 0,025 \text{ МПа}$ датчиком-реле тиску SP7 (SP8) включається реле KV30, останнє включає контактор КМ13 і починається новий цикл роботи компресора.

Для забезпечення можливості роботи компресора при розімкнених контактах SP7, SP8 паралельно їм включені контакти вимикачів S21, S22 "КОМПРЕСОР" з самоповертання, встановлені на пульті машиніста.

При відключенні несправного компресора (або його електроприводу) тумблерами S23, S24 забезпечується можливість включення іншого справного компресора при управлінні з кабіни управління.

При спрацьовуванні теплових реле КК13, КК14, відключається контактор КМ13. Відновлення реле - ручне. Докладніший опис роботи схеми допоміжних

ланцюгів і ланцюгів управління допоміжними машинами міститься в керівництві по експлуатації електровоза.

Ввімкнення і відключення компресорної установки проводиться через режим "Холостий хід", при якому приводний двигун обертається, але повітря в пневмосистему не нагнітається. Час роботи КУ в даному режимі визначається настройкою контролера. На пульті машиніста проводиться індикація цього режиму роботи КУ. Для забезпечення роботи КУ в режимі холостий хід"(при відключенні) силові контакти контактора КМ 13 попарно шунтовані перемичками.

Індикація режиму "Холостий хід" здійснюється шляхом реалізації мигаючого режиму роботи штатного індикатора МК1, для чого в конструкції пульта управління компресорною установкою передбачена спеціальна контактна група (нормально замкнена), що комутує з певною частотою підключені до неї проводи Н200 і Н459.

Індикація стану "Аварія" здійснюється штатним індикатором ДМ1, керованим спеціальною контактною групою в пульті керування компресорної установки, до якої підключені дроти Н200 і Н451. Контактна група розімкнена при нормальній роботі і замкнута при:

- виникненні стану "Аварія";
- дії блокувань в пульті управління КУ, що перешкоджають пуску компресорної установки;
- знеструмленні з інших причин контактора приводного двигуна КУ;
- знеструмленні схеми управління або всієї компресорної установки.

На лицьовій частині пульта управління КУ встановлений спеціальний тумблер (з можливістю опломбування) SQ1 «Аварійний режим компресора» для забезпечення в екстрених випадках прямого управління по дроту Н206 контактора приводного електродвигуна КУ при відмові контролера.

2.4 Модернізація схеми керування

Для регулювання подачі повітря відповідно до параметрів обраного електродвигуна було вирішено замінити нерегульований електропривод на більш економічний регульований по системі «Тиристорний перетворювач частоти – асинхронний двигун» (ТПЧ-АД), для чого встановити тиристорний перетворювач частоти, структурна схема якого приведена на рис. 2.4.

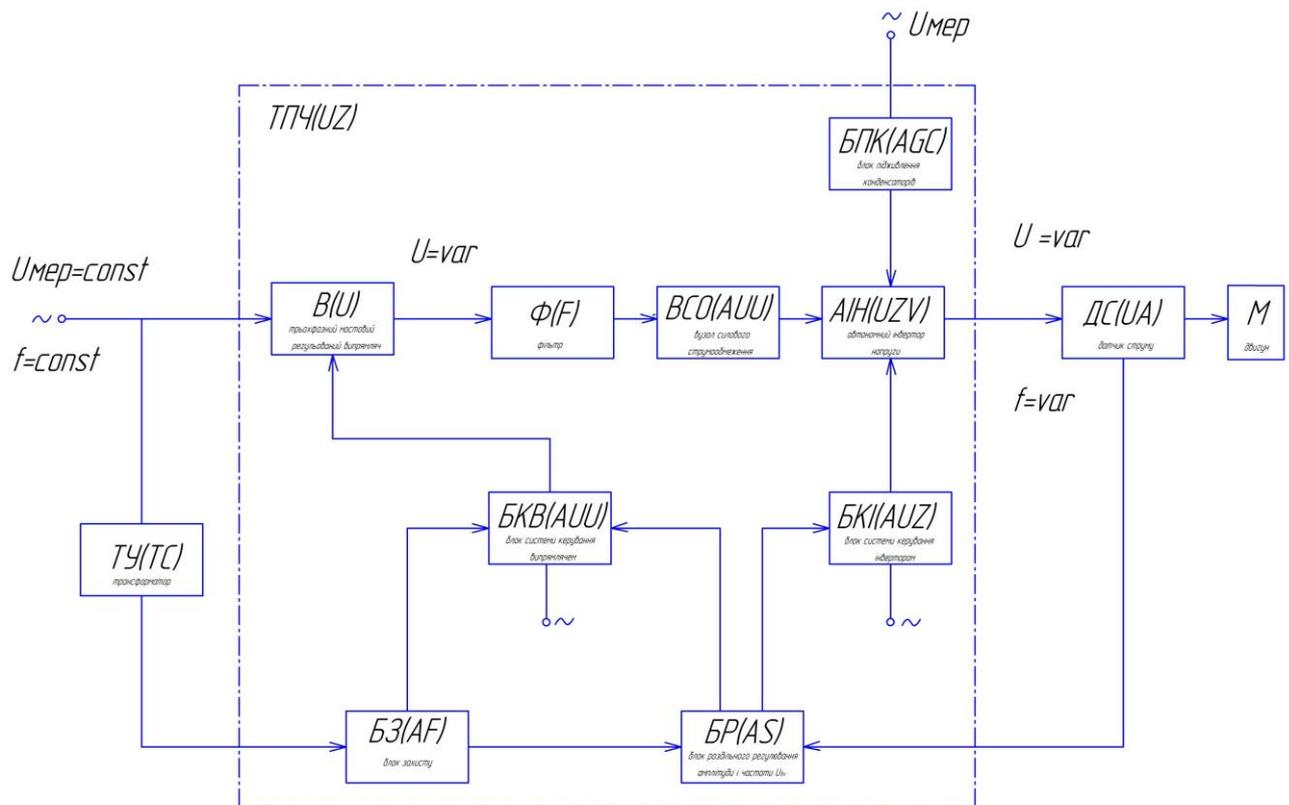


Рисунок 2.4 – Структурна схема електроприводу компресора

Електропривод складається з блоків: М – асинхронний двигун; ТПЧ (UZ) – тиристорний перетворювач частоти, в силову частину якого входять: В(U) – трьохфазний мостовий регульований випрямляч (перетворювач напруги) з ланцюгом постійного струму; АІН(UZV) – автономний інвертор напруги; $\Phi(F)$ – фільтр; БПК(AGC) – блок підживлення конденсаторів; ВСО(AUF) – вузол силового струмообмеження; ДС(UA) – датчик струму.

Схема керування ТПЧ складається: БКВ(AUU), БКІ(AUZ) – блоки систем керування випрямлячем і інвертором; БР(AS) – блок керування, що здійснює окреме регулювання амплітуди і частоти вихідної напруги і забезпечує необхідне

співвідношення між ними; БЗ(АФ) – блок захисту, що забезпечує відключення і автоматичне повторне вмикання (АПВ) при зриві інвертора, відключення при зникненні фази живлючої напруги, АПВ при короткочасному зникненні напруги живлячої мережі, максимальньо-струмовий захист, відключення ЕП при перенавантаженнях.

Замкнена система ЕП побудована по принципу порівнювання задавального сигналу, пропорційного частоті з сигналом зворотного зв'язку ЗЗ по внутрішній ЕРС двигуна.

Принципова схема електроприводу приведена на рис. 2.5.

Принципова силова схема ТПЧ підключається до мережі автоматичним вимикачем QF1 через струмообмежуючі реактори L1. ТПЧ виконаний на тиристорах VS1-VS6. Реактор L2 і конденсатор C1 виконують роль фільтра в ланцюзі постійного струму. Крім цього, конденсатор C1 є конденсатором реактивної потужності навантаження, що підвищує загальний коефіцієнт потужності ЕП.

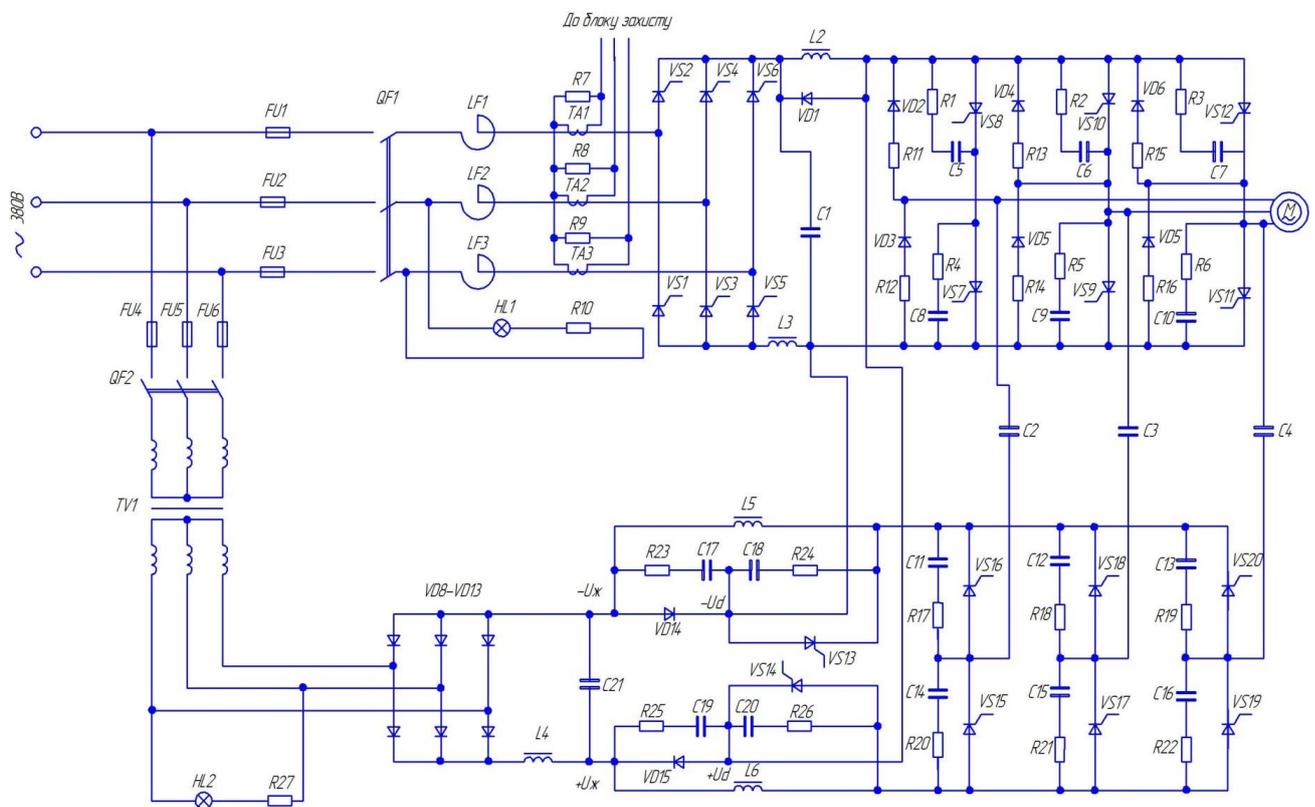


Рисунок 2.5 – Принципова схема електроприводу компресора

В ТПЧ використовується автономний інвертор напруги з пофазною комутацією, комутуючий пристрій якого служить для почергового запирання тиристорів двох вентиляльних плечей, які відносяться до однієї фази інвертора. Схема автономного інвертора складається: міст основних тиристорів (VS7-VS12); міст комутуючих тиристорів (VS15-VS20); розділяючі діоди VD14, VD15, що розв'язують джерело основного живлення U_d з додатковим джерелом U_n ; міст зворотніх діодів (VD2-VD7) з резисторами R1-R6; комутуючі конденсатори C2-C4; тиристири підживлення VS13, VS14.

При вмиканні основних тиристорів VS8, VS10 і VS11 комутуючий конденсатор C2 заряджений до напруги джерела живлення U_d з вказаною на схемі полярністю. Струм навантаження тече до тиристорів VS8, VS10 по фазам двигуна і тиристору VS11. Імпульси керування подаються одночасно на один робочий тиристор. Наприклад, для того щоб заперти робочий тиристор VS8, імпульси керування подаються на комутуючий тиристор VS15 і одночасно на робочий тиристор VS7. Комутуючий конденсатор C2, розряджаючись, гасить струм в тиристорі VS8 і далі перезаряджається по ланцюгу C2 – резистор R1 – зворотній діод VD2 – розділюючий діод VD15 – індуктивність L6 – комутуючий тиристор VS15 – C2. Після закінчення перезарядки конденсатора C2 вмикається робочий тиристор VS7. Струм фази замикається через зворотній діод VD2, зменшуючись до нуля, і при зміні знака переходить в тиристор VS7.

В схемі при зниженні U_d і збільшенні струму стійкість комутації падає. Незалежність напруги на комутуючому конденсаторі від напруги живлення можна забезпечити, використовуючи підзарядку конденсатора від сторонніх джерел (U_n) через тиристири підзарядки (VS13, VS14) після закінчення комутації струму в основних тиристорах.

Тому для забезпечення постійної комутаційної здатності інвертора при регулюванні амплітуди і частоти вихідної напруги в перетворювачі використовується джерело підзарядки комутуючих конденсаторів, що складається з некерованого (чи напівкерованого) випрямляча, виконаного по

трифазній мостовій схемі (діоди VD8-VD13). Напруженість на його виході фільтрується Т – подібним фільтром L4 і C5. Джерело підзарядки включається в мережу змінного струму через трансформатор TC і автомат QF2.

При вмиканні тиристора VS7 одночасно з ним подається імпульс на вмикання тиристора підзарядки VS13 і на повторно комутуючий тиристор VS15. Підзарядка проходить по ланцюгу (+U_п) - L6 – VS15 – C2 – VS7 – VS13 – L5 – (-U_п). Для обмеження струму при розрядці енергії ємності фільтра в схемі використовується силове струмообмеження, що здійснюється згладжуючим реактором L2, зашунтованим зустрічно-включеним діодом VD1, і в залежності від типу перетворювача – розрядним пристроєм (на схемі не показано).

В схемі ЕП здійснюється максимально-струмовий захист (QF1, QF2, FU1, FU2). Захист тиристорів робочих, комутуючих, підзарядки і розділюючих діодів від перевантажень здійснюється ланцюгами RC. Сигналізація забезпечується лампою HL.

2.5 Розрахунок елементів принципової схеми

2.5.1 Розрахунок пускових реакторів в колі статора

Для зниження пускових струмів короткозамкненого асинхронного двигуна у коло статора на момент пуску вводять активні або реактивні резистори. Зниження струму характеризується коефіцієнтом α :

$$I_{np} = \alpha \cdot I_n \quad (2.23)$$

I_{np} - пусковий струм при ввімкненому резисторі;

I_n - пусковий струм при відсутності резистора.

α приймаємо рівним 0.5, тобто знижуємо струм при пускові удвічі.

Для розрахунку величини резистору спочатку визначають номінальне ковзання :

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0},$$

n_0 - синхронна швидкість поля статора;

n_H - швидкість обертання ротора електродвигуна.

$$S_H = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0.03 = 3\%$$

Визначаємо номінальний струм двигуна:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H}, \quad (2.24)$$

P_H - номінальна потужність;

U_H - номінальна напруга;

η_H - ККД;

$\cos \varphi_H$ - номінальний коефіцієнт потужності двигуна.

$$I_H = \frac{7.5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.875 \cdot 0.86} = 15.14 A$$

Визначаємо коефіцієнт потужності в момент пуску:

$$\cos \varphi_n = \cos \varphi_H \left[\frac{M_n}{M_H} \cdot \frac{\eta_H}{(1 - S_H)} \cdot \frac{I_n}{I_H} + \gamma \cdot \frac{I_n}{I_H} (1 - \eta_H) \right],$$

$\gamma = \frac{1}{3}$ - визначає відношення втрат у міді до номінальних втрат.

$$\cos \varphi_n = \cos \varphi_H \left[2.2 \cdot \frac{0.875}{(1 - 0.03) \cdot 7.5} + \frac{1}{3} \cdot 7.5 (1 - 0.875) \right] = 0.4957$$

Далі визначаємо пусковий струм електродвигуна:

$$I_n = K_3 \cdot I_H, \quad (2.25)$$

де K_3 - коефіцієнт кратності пускового і номінального струмів.

$$I_n = 7.5 \cdot 15.14 = 113.55 A$$

Повний опір фази двигуна у момент пуску:

$$Z_k = \frac{U_H}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (2.26)$$

$$Z_k = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 113.55} = 1.932 \text{ Ом}$$

Активний і індуктивний опори фази при пуску:

$$r_k = Z_k \cdot \cos \varphi_n \quad (2.27)$$

$$x_k = Z_k \cdot \sin \varphi_n \quad (2.28)$$

$\sin \varphi_n$ знаходимо за таким співвідношенням:

$$\sin \varphi_n = \sin(\arccos(0.4957)) = 0.8684$$

Тоді:

$$r_k = 1.932 \cdot 0.4957 = 0.957 \text{ Ом}$$

$$x_k = 1.932 \cdot 0.8684 = 1.678 \text{ Ом}$$

Індуктивний опори пускового реостата на фазу визначаємо із співвідношення:

$$x_n = \sqrt{\left(\frac{Z_k}{\alpha}\right)^2 - r_k^2} - x_k = \sqrt{\left(\frac{1.932}{0.5}\right)^2 - 0.957^2} - 1.678 = 2.067 \text{ Ом} \quad (2.29)$$

Визначаємо індуктивність з наступної формули:

$$x_n = \omega \cdot L \quad (2.30)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314 \text{ с}^{-1} \quad (2.31)$$

$$L = \frac{x_n}{\omega} = \frac{2.067}{314} = 0.00658 = 6.58 \text{ мГн} \quad (2.32)$$

Реактори необхідні з індуктивністю 6,58 мГн, які вибираємо за довідником.

Вибраний реактор марки ЕРОМ-350/6 має наступні характеристики:

$$U_H = 220 \text{ В}$$

$$I_{HP} = 105 \text{ А}$$

$$L = 0.006 \text{ Гн}$$

$$I_{MAX} = 240 \text{ А}$$

Перевіряємо відхилення:

$$\Delta L = \frac{L_n - L_{кам}}{L_n} \cdot 100\% < 20\% \quad (2.33)$$

$$\Delta L = \frac{0.00658 - 0.006}{0.00658} \cdot 100\% = 8.814\%$$

Вибраний реактор підходить, так як в нього відхилення від норми менше допустимого.

2.5.2 Розрахунок трифазного мостового некерованого випрямляча

Величину випрямленої напруги в тиристорному випрямлячі визначимо за формулою:

$$U_d = \frac{1}{\pi/3} \cdot \int_{-\pi/6}^{\pi/6} \sqrt{2} \cdot U_{2л} \cdot \cos \vartheta d\vartheta = 3\sqrt{2} / \pi U_{2л} = 2.34 \cdot U_2 \quad (2.34)$$

$$U_d = 2.34 \cdot 36 = 84.24B$$

Для оцінки якості випрямленої напруги вводиться коефіцієнт пульсації:

$$q = \frac{2}{m^2 - 1} = \frac{2}{6^2 - 1} = 0.057 = 5.7\% , \quad (2.35)$$

де m - кількість імпульсів.

Тобто амплітуда першої гармоніки становитиме 5.7% від U_d .

$$f = 6 \cdot 50 = 300Гц$$

$$I_d = \frac{U_d}{R_H} \quad (2.36)$$

Опір навантаження визначимо з формули:

$$P = I_H^2 \cdot R_H , \quad (2.37)$$

де R_H дорівнює:

$$R_H = \frac{P}{I_H^2} = \frac{7.5 \cdot 10^3}{15.14^2} = 32.71 Ом \quad (2.38)$$

Тоді:

$$I_d = \frac{84.24}{32.71} = 2.575A$$

Струм тиристора визначимо з формули:

$$I_a = \frac{I_d}{3} = \frac{2.575}{3} = 0.858A \quad (2.39)$$

Зворотня напруга для вторинних обмоток буде рівна:

$$U_{b.маx} = \sqrt{6} \cdot U_2 = \sqrt{6} \cdot 36 = 88.18B \quad (2.40)$$

Але, якщо врахувати, що на навантаженні напруга в 2 рази більше, це відповідає:

$$U_{b.маx} = \frac{\pi}{3} \cdot U_d = 1.045 \cdot U_d = 1.045 \cdot 84.24 = 88.0308B \quad (2.41)$$

$$I_d = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi/6}^{\pi/6} i_d^2 d\vartheta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \int_{-\pi/6}^{\pi/6} I_d^2 d\vartheta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 2.575 = 2.102A \quad (2.33)$$

Повна потужність трансформатора для роботи електропривода без урахування комутації визначається:

$$S_t = S_1 = S_2 = 3 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_d \cdot U_d = \frac{\pi}{3} \cdot P_d = 1.045 \cdot P_d \quad (2.42)$$

$$P_d = I_d \cdot U_d = 84.24 \cdot 2.575 = 216.918 \text{ Вт} \quad (2.43)$$

$$S_t = 1.045 \cdot 216.918 = 226.68 \text{ ВА}$$

2.5.3 Розрахунок керованого випрямляча

Розрахунок керованого випрямляча проводимо виходячи з потужності розрахованого двигуна.

Номінальний опір кола статора:

$$R_H = 0.5 \left(\frac{U_H}{I_H} (1 - \eta) \right), \quad (2.44)$$

де : U_H - номінальна напруга двигуна;

I_H - номінальний струм двигуна;

η - ККД двигуна.

$$R_H = 0.5 \left(\frac{380}{15.14} \cdot (1 - 0.875) \right) = 1.568 \text{ Ом}$$

Визначимо ЕРС двигуна:

$$E = U_\phi, \quad (2.45)$$

де U_ϕ - фазна напруга двигуна, яка визначається за формулою:

$$U_\phi = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.39 \text{ В} \quad (2.46)$$

Тоді:

$$E = 219.39 \text{ В}$$

Величину випрямленої напруги в тиристорному випрямлячі визначимо за формулою:

$$U_{do} = \frac{E + 1.1 \cdot I_H \cdot R_{яном} + a \cdot \epsilon \cdot U_b}{\cos \alpha_{\min} - a_\epsilon \left(\epsilon \cdot K_{мер} \cdot \epsilon_\kappa \% + c_m P_M \% \right) - d \cdot U_{мер} \%}, \quad (2.47)$$

де E – ЕРС двигуна;

a_ϵ - коефіцієнт, що залежить від схеми випрямлення і для трифазної мостової схеми рівний 2;

U_ϵ - падіння напруги на тиристорі, рівне 1В;

c_m, d, ϵ - розрахункові коефіцієнти;

$$\epsilon = 0.0025; \quad c_m = 0.0052; \quad d = 0.0043,$$

$K_{мер}$ - коефіцієнт, що враховує індуктивність мережі змінного струму;

ϵ_k % - напруга короткого замикання %;

P_m % - втрати у міді трансформатора в %;

$U_{мер}$ % - запас на коливання напруги в мережі %.

Для визначення U_{do} попередньо приймаємо:

$$\epsilon_k \% = 5\%; \quad P_m \% = 2\%; \quad U_{мер} \% = 10\%;$$

Так як вимоги до привода у відношенні швидкодії при відпрацюванні різних збурень за рахунок зміни напруги, що приводиться до двигуна, високі, то величину α_{\min} вибираємо рівною 30° . Величина $K_{мер}$ визначається відношенням потужності мережі живлення.

Для приводів середньої потужності $K_{мер} = 1.1$.

Підставивши всі значення у формулу знайдемо:

$$U_{do} = \frac{219.39 + 1.1 \cdot 15.14 \cdot 1.568 + 2 \cdot 0.0025 \cdot 1}{\cos \alpha_{\min} - 2(0.0025 \cdot 1.1 \cdot 5 + 0.0052 \cdot 2) - 0.0043 \cdot 10} = 308.93B$$

Визначимо фазову напругу вторинної обмотки трансформатора:

Визначимо номінальну фазову напругу вторинної обмотки $U_{2\phi}$:

$$U_{2\phi} = \frac{U_{do}}{k_g}, \quad (2.48)$$

де k_g - коефіцієнт, що для трифазної мостової схеми випрямлення рівний 2.34;

$$U_{2\phi} = \frac{308.93}{2.34} = 132.02B$$

Повну потужність трансформатора для роботи електропривода без урахування комутації визначаємо за формулою:

$$S_t = 1.045 \cdot U_{do} \cdot I_{ном} \quad (2.49)$$

$$S_t = 1.045 \cdot 308.93 \cdot 15.14 = 4888.67BA$$

Потрібного трансформатора в каталогах немає, отже необхідно замовити трансформатор індивідуального виробництва з наступними параметрами:

$$U_{мер} = 380B$$

$$S = 5.0кВА$$

$$I_{xx} = 7\%$$

$$U_{кз} = 4.5\%$$

$$P_0 = 130Вт$$

$$P_{кз} = 320Вт$$

Коефіцієнт трансформації силового трансформатора визначається:

$$K_{mp} = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} \quad (2.50)$$

$$K_{mp} = \frac{380/\sqrt{3}}{132.02/\sqrt{3}} = 2.878$$

Номінальний струм первинної обмотки трансформатора визначаємо за формулою:

$$I_{1\phi} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{1л}} \quad (2.51)$$

$$I_{1\phi} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 7.59A$$

Фазна напруга первинної обмотки:

$$U_{1\phi} = \frac{U_{1л}}{\sqrt{3}} \quad (2.52)$$

$$U_{1\phi} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.39B$$

Індуктивний опір трансформатора, приведений до вторинної обмотки визначаємо за формулою:

$$X_{mp} = \frac{1.1\epsilon\% \cdot U_{1\phi}}{I_{1\phi} \cdot \kappa_{mp}^2 \cdot 100} \quad (2.53)$$

$$X_{mp} = \frac{1.1 \cdot 10 \cdot 219.93}{7.59 \cdot 2.878^2 \cdot 100} = 0.383Ом$$

Активний опір трансформатора, приведений до вторинної обмотки:

$$R_{mp} = \frac{P_M}{m \cdot I_{1\phi}^2 \cdot \kappa_{mp}^2} = \frac{2 \cdot S / 100}{m \cdot I_{1\phi}^2 \cdot \kappa_{mp}^2} \quad (2.54)$$

$$R_{mp} = \frac{2 \cdot 5000}{3 \cdot 7.59^2 \cdot 2.878^2 \cdot 100} = 0.069 \text{ Ом}$$

Індуктивність розсіювання визначається по напрузі короткого замикання трансформатора, при номінальному значенні струму $I_{2ном}$, приведену до вторинної обмотки:

$$X_a = \frac{U_k \% \cdot U_{2ном}}{I_{2ном} \cdot 100}, \quad (2.55)$$

де $U_{2ном}$, $I_{2ном}$ - номінальна фазова напруга та струм вторинної обмотки трансформатора.

Тоді:

$$X_a = \frac{4.5 \cdot 132.02}{15.14 \cdot 100} = 0.3923 \text{ Ом}$$

Кути комутації струму у випрямлячі визначаємо за формулою:

$$\cos(\alpha) - \cos(\alpha - \gamma) = \frac{2 \cdot I_d \cdot X_a}{\sqrt{6} \cdot U_2} \quad (2.56)$$

При $U_d = U_{дн}$ $\alpha = 0^0$

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2 \cdot I_d \cdot X_a}{\sqrt{6} \cdot U_2} \quad (2.57)$$

$$\cos \gamma = 1 - \frac{2 \cdot 15.14 \cdot 0.3923}{\sqrt{6} \cdot 132.02} = 0.9632$$

$$\gamma = \arccos(0.9632) = 15.58^0$$

При $U_d = U_{дн}$ $\alpha = 60^0$

$$\gamma = \arccos \left(\cos 60^0 - \frac{2 \cdot 15.14 \cdot 0.3923}{\sqrt{6} \cdot 132.02} \right) - 60^0 = 2.41^0$$

Знаходимо кут зсуву першої гармоніки для двох випадків:

$$\varphi = \alpha + \frac{\gamma}{2} \quad (2.58)$$

При $U_d = U_{дн}$ $\alpha = 0^0$

$$\varphi = \frac{15.58^0}{2} = 7.79^0$$

При $U_d = U_{дн}$ $\alpha = 60^0$

$$\varphi = 60 + \frac{2.41^0}{2} = 61.205^0$$

Розрахуємо коефіцієнт потужності випрямляча:

$$\lambda = k_c \cdot \cos \varphi, \quad (2.59)$$

де k_c - коефіцієнт спотворення форми кривої змінного струму, що споживається з мережі (коефіцієнт несинусоїдальності), при $L \rightarrow \infty$ для трифазної мостової схеми дорівнює:

$$K_c = 3/\pi = 0.955 \quad (2.60)$$

Тоді згідно формули коефіцієнт потужності випрямляча дорівнює:

$$\text{При } U_d = U_{dH} \quad \lambda = 0.955 \cdot \cos 7.79^0 = 0.946$$

$$\text{При } U_d = U_{dH} \quad \lambda = 0.955 \cdot \cos 61.205^0 = 0.46$$

Вибір вентилів проводимо по допустимому струму і допустимій оберненій напрузі:

$$I_{a.cер} > \frac{I_{дн}}{3} \quad (2.61)$$

$$I_{a.cер} > \frac{15.14}{3} = 5.047 A$$

Допустима обернена напруга:

$$U_{об.мах} > \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot U_{2л} \quad (2.62)$$

$$U_{об.мах} > \frac{\sqrt{6}}{3} \cdot 132.02 = 161.69 B$$

Обернену максимальну напругу визначаємо з урахування коливань мережі на 10%, а також з урахуванням комутаційних перенапружень. Тому обернену напругу знайдену за формулою (2.62) збільшуємо на 40%:

$$U_{об.мах} = 1.4 \cdot 161.69 = 226.37 B$$

Із каталогу вибираємо тиристори для силової схеми типу ТО-10-5 із наступними даними:

$$I_{a.cер} = 10 A$$

$$U_M = 3 B$$

$$U_{зв.мах} = 500 B$$

$$I_k = 75 mA$$

$$\Delta U_a = 1.85B$$

$$t_{\text{вкл}} = 10\text{мкс}$$

$$t_{\text{вимкл}} = 150\text{мкс}$$

де $I_{a.\text{сеп}}$ - максимально допустимий середній струм у відкритому стані, А;

ΔU_a - падіння напруги на тиристорі, В;

$U_{\text{зв.мах}}$ - максимально допустима напруга тиристора, В;

I_k - струм керуючого електрода, А;

$t_{\text{вкл}}$ - час вмикання тиристора, мкс;

$t_{\text{вимкл}}$ - час вимикання тиристора, мкс;

Втрати потужності на вентилях розраховуємо за формулою:

$$\Delta P_a = m_a \cdot \Delta U_a \cdot I_{a.\text{сеп}} \quad (2.63)$$

де m_a - кількість тиристорів у випрямлячі (для даної схеми становить 6);

ΔU_a - падіння напруги на тиристорах, В;

$I_{a.\text{сеп}}$ - прямий струм тиристора;

$$\Delta P_a = 6 \cdot 1.85 \cdot 500 = 5500\text{Вт}.$$

Розраховуємо коефіцієнт корисної дії випрямляча, без урахування споживаної енергії СІФК, знайдемо його значення для 2-х випадків: при вихідній напрузі $U_d = U_{dн}$ і $U_d = U_{dн} / 2$.

Для цього попередньо знаходимо коефіцієнти завантаження для 2-х випадків :

а) для $\beta = U_d / U_{dн} = U_{dн} / U_{dн} = 1$:

$$\eta = \frac{\beta^2 \cdot P_{dн}}{\beta^2 \cdot P_{dн} + \beta \cdot P_a + P_0 + \beta^2 \cdot P_k}, \quad (2.64)$$

де $P_{dн}$ - номінальна корисна потужність;

dP_a - втрати потужності на вентилях;

P_0 - втрати у магнітопроводі трансформатора;

P_k - втрати в обмотках трансформатора.

$$\eta = \frac{1^2 \cdot 132.02 \cdot 15.14}{1^2 \cdot 132.02 \cdot 15.14 + 1 \cdot 5550 + 130 + 1^2 \cdot 320} = 0.943$$

б) $\beta = U_d / U_{dH} \cdot 2 = 0.5$:

$$\eta = \frac{0.5^2 \cdot 132.02 \cdot 15.14}{0.5^2 \cdot 132.02 \cdot 15.14 + 0.5 \cdot 5550 + 130 + 0.5^2 \cdot 320} = 0.849$$

2.5.4 Розрахунок автономного інвертора напруги

Знаходимо діюче значення джерела живлення U_d за формулою:

$$U_d = \frac{3 \cdot U_\phi}{\sqrt{2}}, \quad (2.65)$$

$$U_d = \frac{3 \cdot 132.02}{\sqrt{2}} = 280.06B$$

При розкладанні в ряд Фур'є лінійної напруги мостового інвертора:

$$U_n = (wt) = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \cdot U_d \left[\sin 0 - \frac{1}{5} \sin 50 - \frac{1}{7} \sin 70 + \frac{1}{11} \sin 110 \right], \quad (2.66)$$

маємо діючу лінійну напругу:

$$U_{n(1)} = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi \sqrt{2}} \cdot U_d = \frac{6 \cdot U_d}{\pi} = 0.78 \cdot U_d \quad (2.67)$$

фазна діюча напруга:

$$U_\phi = \frac{2 \cdot U_d}{\pi} = 0.45 \cdot U_d \quad (2.68)$$

Отже перераховане діюче значення напруги:

$$U_d = \frac{U_\phi}{0.45}, \quad (2.69)$$

$$U_d = \frac{132.02}{0.45} = 293.4B$$

Визначаємо фазне значення струму навантаження I_ϕ за формулою:

$$I_\phi = \frac{\sqrt{2} \cdot I_0 \cdot A}{3}, \quad (2.70)$$

де I_0 – базисний струм, А;

$$I_0 = \frac{U_d}{R_H} = \frac{U_d \cdot I_H}{U_\phi \cdot \cos \varphi}, \quad (2.71)$$

де $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності двигуна.

$$I_0 = \frac{293.4 \cdot 15.14}{132.02 \cdot 0.875} = 38.45 \text{ A.}$$

Визначимо амплітуду основної гармоніки вихідної напруги:

$$A = \sqrt{1 - \frac{3}{2 \cdot \pi \cdot k} \cdot \frac{1 - a^2}{1 - a + a^2}}, \quad (2.72)$$

де k – коефіцієнт нелінійних спотворень:

$$k = \frac{R_H}{\omega \cdot L_H} = \frac{R_H}{Z_H \cdot \sin \varphi} = \frac{R_H}{\sqrt{Z_H^2 - R_H^2}}, \quad (2.73)$$

де ω - кутова швидкість двигуна;

L_H - індуктивність обмоток двигуна;

Z_H - повний опір обмоток двигуна:

$$Z_H = \frac{U_\phi}{I_H}, \quad (2.74)$$

Таким чином:

$$Z_H = \frac{132.02}{15.14} = 8.719 \text{ Ом}$$

Підставимо дані значення в формулу для визначення коефіцієнта нелінійних спотворень:

$$k = \frac{1.568}{\sqrt{8.719^2 - 1.568^2}} = 0.18$$

Відносна довжина імпульсу вихідної напруги:

$$a = e^{-\frac{k \cdot \pi}{3}} \quad (2.75)$$

Тоді:

$$a = e^{-\frac{0.18 \cdot 3.14}{3}} = 0.627$$

Знайдемо амплітуду основної гармоніки вихідної напруги:

$$A = \sqrt{1 - \frac{3}{2 \cdot 0.18 \cdot 3.14} \cdot \frac{1 - 0.627^2}{1 - 0.627 + 0.627^2}} = 0.399$$

Знаходимо фазне значення струму:

$$I_\phi = \frac{\sqrt{2} \cdot 38.45 \cdot 0.399}{3} = 7.232 \text{ A}$$

Дане значення задовольняє наші потреби, так як $I_{\phi} < I_H$.

Діюче значення струму дорівнює:

$$I_d = \frac{2}{3} \cdot I_0 \cdot A^2 \quad (2.76)$$

Тоді:

$$I_d = \frac{2}{3} \cdot 38.35 \cdot 0.399^2 = 4.08A$$

Дане значення задовольняє умову: $I_d < I_H$

Щоб вибрати тиристри для автономного інвертора напруги проводимо наступні розрахунки:

визначимо середній струм тиристора:

$$I_{a.сep} = I_{\phi} = 7.232A$$

зворотня напруга тиристора дорівнює:

$$U_{зв.мах} = 1.3 \cdot U_d$$

$$U_{зв.мах} = 1.3 \cdot 293.4 = 381.42B$$

По даним $I_{a.сep}$ і $U_{зв.мах}$ вибираємо тиристри з каталогу. Вибираємо тиристор ТО-10-5 з такими параметрами:

$$I_{a.сep} = 10A$$

$$U_M = 3B$$

$$U_{зв.мах} = 500B$$

$$I_k = 75mA$$

$$\Delta U_a = 1.85B$$

$$t_{вкл} = 10мкс$$

$$t_{вкл} = 150мкс$$

Середній струм зворотніх діодів знаходимо за формулою:

$$I_{a.сep.д} = (0,05 - 0,1) \cdot I_{\phi}$$

$$I_{a.сep.д} = (0,05 - 0,1) \cdot 7.232 = 0.3616A$$

Знаходимо зворотню напругу діодів за формулою:

$$U_{зв.д} = U_{зв.мах} = 1.3 \cdot U_d \quad (2.77)$$

$$U_{зв.д} = U_{зв.мах} = 1.3 \cdot 293.4 = 381.42B$$

По даним $I_{a.сep}$ і $U_{зв.д}$ вибираємо діоди з каталогу КД105Б з такими параметрами:

$$I_{a.cер} = 0.5A$$

$$I_{зв} = 15mA$$

$$U_{зв.d} = 400B$$

$$f_{max} = 1кГц$$

Максимальна величина ємності конденсатора при умові зменшення величини напруги не менше ніж на 20%.

$$C_0 = \frac{U_d \cdot T_H}{3 \cdot R_H \cdot 0.2 \cdot U_d} (2 \cdot \ln 2 - 1), \quad (2.78)$$

де T_H - постійна часу навантаження, с;

$$T_H = \frac{L_H}{R_H}, \quad (2.79)$$

де L_H - індуктивність обмоток двигуна, $L_H = 0.54 \cdot 10^{-3} мГн$

Підставимо дані у формулу:

$$T_H = \frac{0,54 \cdot 10^{-3}}{1,568} = 3,44 \cdot 10^{-4} c$$

Тоді потрібна ємність конденсатора дорівнює:

$$C_0 = \frac{381,42 \cdot 3,44 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 1,568 \cdot 0,2 \cdot 381,42} (2 \cdot \ln 2 - 1) = 141 нкФ.$$

Вибираємо зі стандартного ряду конденсаторів ЕЗ конденсатор номіналом 150 пкФ.

Таким чином, проведена модернізація схеми керування електроприводом компресора, розраховані та обрані основні елементи цієї схеми.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ТА СТІЙКОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Структурна схема САК

В розробленій системі автоматичного керування (САК) електроприводом компресора реалізовано принцип керування за відхиленням, а координатами керування є струм і ЕРС двигуна (рис.3.1).

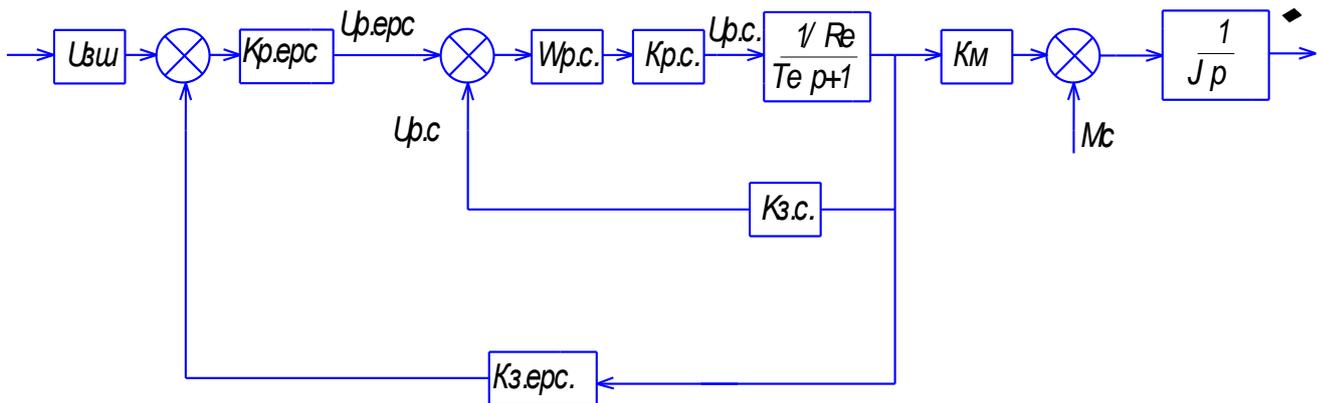


Рисунок 3.1 - Структурна схема САК

Позначення на структурній схемі САК відповідають:

$U_{зш}$ – напруга завдання швидкості;

$K_{р.ерс}$ – коефіцієнт підсилення регулятора ЕРС;

$T_{р.ерс}$ – постійна часу регулятора ЕРС;

$U_{р.ерс}$ – напруга на виході регулятора ЕРС;

$W_{рс} = K_{рс} / (T_{рс} p + 1)$ – передавальна функція регулятора струму;

$K_{рс}$ – коефіцієнт підсилення регулятора струму;

$T_{рс}$ – постійна часу регулятора струму;

R_e – еквівалентний опір ланцюга статора;

T_e – еквівалентна електромагнітна постійна часу статора двигуна;

T_m – електромеханічна постійна двигуна;

$K_{зс}$ – коефіцієнт зворотнього зв'язку по струму;

$K_{зш}$ – коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості;

K_T – коефіцієнт моменту;

J – момент інерції ротора двигуна.

3.2 Визначення розімкненої та замкненої передавальної функції

Передавальна функція контуру регулювання струму має вид:

$$W_{p.c.}(p) = \frac{K_{p.c.} \cdot \frac{1}{R_e \cdot (T_e \cdot p + 1)} \cdot \frac{1 + T_{pc} \cdot p}{T_{pc} \cdot p}}{1 + K_{z.c.} \cdot K_{p.c.} \cdot \frac{1}{R_e \cdot (T_e \cdot p + 1)} \cdot \frac{1 + T_{pc} \cdot p}{T_{pc} \cdot p}}, \quad (3.1)$$

Після спрощення виразу отримаємо:

$$W_{p.c.}(p) = \frac{K_{p.c.} \cdot (1 + T_{pc} \cdot p)}{R_e (T_e \cdot p + 1) \cdot T_{pc} + K_{p.c.} \cdot K_{z.c.} \cdot (1 + T_{pc} \cdot p)}. \quad (3.2)$$

В нашій системі використано ПІ-регулятор для контуру регулювання струму, щоб зменшити похибку керування і ліквідувати статичну похибку, а для контуру регулювання ЕРС – П-регулятор, щоб зменшити тривалість перехідного процесу і компенсувати швидкісну похибку. Розраховуємо параметри системи.

Приведений до вала двигуна момент інерції рівний:

$$J_{np} = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Коефіцієнт моменту визначаємо за формулою:

$$k_m = \frac{3\sqrt{2} \cdot E_{2p}}{\pi \cdot \omega_0} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{M_H}{I_H \cdot k_{np}}, \quad (3.3)$$

$$k_m = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{49,7}{15,14 \cdot 2,878} = 0,923.$$

Еквівалентну постійну часу визначаємо за формулою:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e}, \quad (3.4)$$

де L_e – еквівалентна індуктивність статорного ланцюга двигуна;

R_e – еквівалентний опір статорного ланцюга двигуна.

Еквівалентна індуктивність статорного ланцюга визначається за формулою:

$$L_e = 2(L_{дв} + L_{тр}), \quad (3.5)$$

де $L_{дв}$ – індуктивність обмоток двигуна, $L_{дв} = L_H = 0,00054 \text{ Гн}$

$L_{тр}$ – індуктивність трансформатора, яку визначаємо за формулою:

$$L_{тр} = \frac{X_{тр}}{\omega_0} \quad (3.6)$$

де $X_{\text{тр}}$ – індуктивний опір силового трансформатора, приведений до вторинної обмотки

$$X_{\text{тр}}=0,383$$

ω_0 - кутова частота мережі живлення;

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (3.7)$$

$$\omega_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{с}^{-1}$$

Тоді:

$$L_{\text{тр}} = \frac{0,383}{314} = 0,00122 = 1,22 \text{мГн} .$$

$$L_e = 2(0,00054 + 0,00122) = 0,00352 = 3,52 \text{мГн} .$$

Еквівалентний опір статорного ланцюга визначаємо за формулою:

$$R_e = 2(R_{\text{дв}} + R_{\text{трпр}}), \quad (3.8)$$

де $R_{\text{дв}}$ – активний опір статора електродвигуна, приведений до температури 80°C , його визначаємо за формулою:

$$R_{\text{дв}}=1,24R_{\text{н}}, \quad (3.9)$$

де $R_{\text{н}}$ – опір статорної обмотки при 15°C ,

$$R_{\text{н}}=1.568 \text{ Ом}$$

Тоді:

$$R_{\text{дв}} = 1,24 \cdot 1568 = 1,94 \text{ Ом}.$$

$R_{\text{трпр}}$ – приведений активний опір трансформатора, визначається за формулою:

$$R_{\text{трпр}} = 1,75 \cdot R_{\text{тр}} + \frac{3}{\pi} \cdot X_{\text{тр}}, \quad (3.10)$$

де $R_{\text{тр}}$ – активний опір силового трансформатора, приведений до вторинної обмотки,

$$R_{\text{тр}}=0,069 \text{ Ом}$$

Тоді:

$$R_{\text{трпр}} = 1,75 \cdot 0,069 + \frac{3}{\pi} \cdot 0,383 = 0,486 \text{ Ом}.$$

$$R_e = 2(1,94 + 0,486) = 4,852 \text{ Ом}.$$

$$T_e = \frac{0,00352}{4,852} = 0,000725 \text{ с.}$$

Вибираємо трансформатор струму виходячи з номінального струму двигуна приводу компресора $I_H=15,14\text{A}$. Вибираємо датчик струму LA 35-NP параметри якого наведені нижче:

- Номінальний вхідний струм $I_{\text{вх.ном}}=18\text{A}$;
- Похибка 0,5% від $I_{\text{ном}}$;
- Діапазон перетворення 0...27A;
- Вихідний сигнал 5 В;
- Робоча частота 0...150 кГц;
- Напруга живлення 12...18 В;
- Споживаний струм, 28 мА;
- Габаритні розміри, 29×30×18 мм

Знайдемо коефіцієнт передачі:

$$K_{\text{д.с.}} = \frac{U_{\text{max}}}{K_{\text{з.с.}} \cdot I_{\text{max}}}, \quad (3.11)$$

де $K_{\text{з.с.}}$ – коефіцієнт підсилення вимірювального шунта:

$$K_{\text{з.с.}} = \frac{U_{\text{нш}}}{I_{\text{нш}}}, \quad (3.12)$$

$$K_{\text{з.с.}} = \frac{5}{15.14} = 0,33$$

Підставимо отримане значення у формулу (3.11)

$$K_{\text{д.с.}} = \frac{5}{0,33 \cdot 27} = 0,56$$

При стандартному налагодженні на симетричний оптимум регулятора струму:

$$T_{\text{рег.с.}} = 8 \cdot T_{\mu}, \quad (3.13)$$

де T_{μ} - електромеханічна стала часу, при налагодженні на симетричний оптимум $T_{\mu}=0,01 \text{ с}$, отже:

$$T_{\text{рег.с.}} = 8 \cdot 0,01 = 0,08\text{с}$$

$$k_{p.c.} = \frac{k_{зс} \cdot T_m}{0,4 \cdot \mu \cdot k_{д.с.} \cdot R_e} = 0,4,$$

де μ - параметр налагодження системи, $\mu = 0,15$.

$$k_{p.c.} = \frac{0,33 \cdot 0,01}{0,4 \cdot 0,15 \cdot 0,56 \cdot 2,426} = 0,4$$

Вибираємо датчик ЕРС виходячи з номінальної напруги двигуна приводу компресора $U_H = 380В$. Вибираємо датчик ЕРС LV100 параметри якого наведені нижче:

- Номінальна вхідна напруга $U_{вх.ном} = 100-2500 В$;
- Похибка $\pm 0,7\%$ від $U_{ном}$;
- Вихідний сигнал 15 В;
- Робоча частота 50 Гц.

Знайдемо коефіцієнт передачі:

$$K_{з.ЕРС} = \frac{U_{\max}}{E_H}, \quad (3.14)$$

де E_H – номінальна ЕРС двигуна, яка визначається за формулою:

$$E_H = U_H + I_H \cdot R_H, \quad (3.15)$$

$$E_H = 380 + 15,14 \cdot 1,568 = 403,74 В$$

Тоді підставивши значення в формулу (3.14) отримаємо:

$$K_{з.ЕРС} = \frac{15}{403,74} = 0,0371$$

Коефіцієнт підсилення регулятора ЕРС визначається за наступною формулою:

$$K_{p.ЕРС} = \frac{K_{з.ЕРС}}{k_{он} \cdot a_n \cdot a_c \cdot T_\mu}, \quad (3.16)$$

де $k_{он}$, a_n , a_c - параметри настройки системи, $k_{он} = 1$, $a_n = 4$, $a_c = 0,64$;

$$K_{p.ЕРС} = \frac{0,371}{1 \cdot 1 \cdot 0,64 \cdot 0,01} = 1,45.$$

Після підстановки цих значень отримаємо:

$$W_{p.c.}(p) = \frac{0,08p + 0,4}{0,28 \cdot 10^{-3} p^2 + 0,398p + 0,132}.$$

Передавальна функція контуру регулювання ЕРС:

$$W_{p.ERC} = \frac{K_{p.ERC} \cdot W_{p.c.}(p)}{1 + K_{z.ERC} \cdot K_{p.ERC} \cdot W_{p.c.}(p)}, \quad (3.17)$$

Після підстановки значень отримаємо:

$$W_{p.ERC} = \frac{0,116p + 0,58}{0,28 \cdot 10^{-3} p^2 + 0,4023p + 0,1535}.$$

Загальна передавальна функція замкненої системи матиме вигляд:

$$W_{зам}(p) = W_{p.ERC}(p) \cdot K_m \cdot \frac{1}{J \cdot p}, \quad (3.18)$$

Після підстановки значень отримаємо:

$$W_{зам}(p) = \frac{2,68p + 13,44}{0,94 \cdot 10^{-2} p^3 + 13,37 p^2 + 4,43p + 2,85}.$$

Характеристичне рівняння системи матиме вигляд:

$$0,94 \cdot 10^{-2} p^3 + 13,37 p^2 + 4,43p + 2,85 = 0.$$

3.3 Оцінка стійкості системи

Стійкість системи будемо визначати за критерієм Михайлова.

Система стійка, якщо годограф Михайлова замкненої системи, при зміні частоти $0 < \omega < \infty$ проходить проти годинникової стрілки, починаючи з першого квадранту послідовно n -квадрантів, де n – порядок характеристичного рівняння замкненої системи.

Передавальна функція системи має вигляд:

$$W_{зам}(p) = \frac{2,68p + 13,44}{0,94 \cdot 10^{-2} p^3 + 13,37 p^2 + 4,43p + 2,85}.$$

Для побудови годографа Михайлова необхідно виділити дійсну та уявну частину характеристичного рівняння, тобто звести його до вигляду:

$$M(\omega) = B(\omega) + jD(\omega) \quad (3.19)$$

Врахувавши, що $p = j\omega$, а відповідно $p^2 = -\omega^2$; $p^3 = -j\omega^3$ і підставивши всі зроблені перетворення у дане характеристичне рівняння, будемо мати:

$$M(\omega) = j(4,43\omega - 0,94 \cdot 10^{-2} \cdot \omega^3) + 13,37\omega^2 + 2,85.$$

Будуємо годограф Михайлова $M(\omega) = B(\omega) + jD(\omega)$, змінюючи ω від 0 до ∞ .

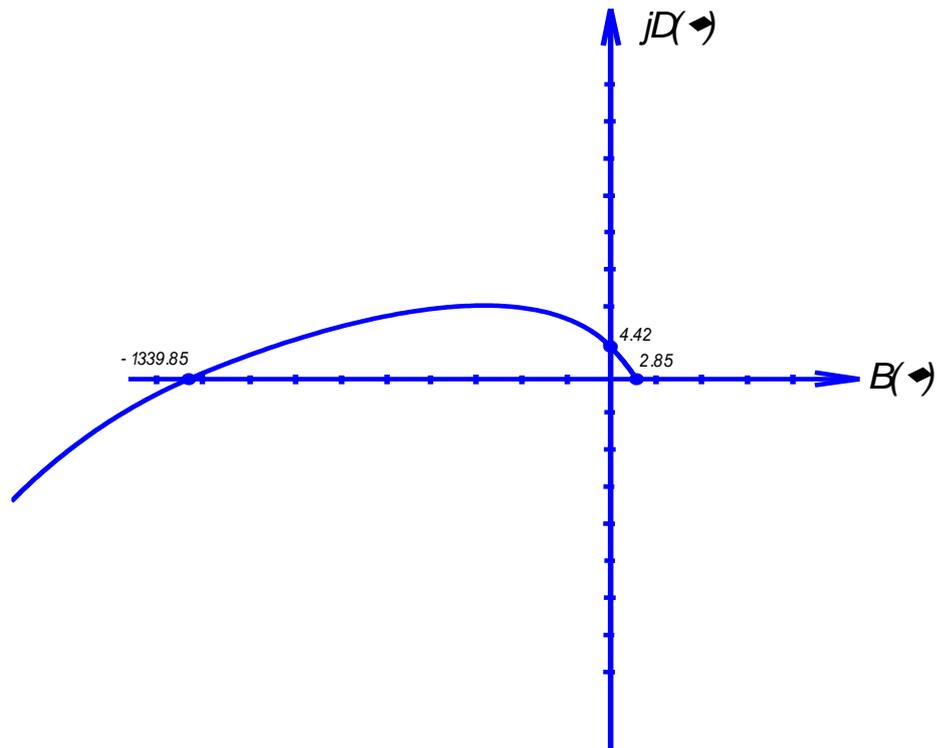


Рисунок 3.2 - Годограф Михайлова

Для характеристичного рівняння третього порядку всі умови виконуються, робимо висновок, що система стійка за критерієм Михайлова.

3.4 Оцінка якості системи

Система стійка, якщо вона повертається до усталеного стану після припинення дії збурення, що визвало її з цього стану.

Побудуємо перехідну функцію замкненої системи. Маємо характеристичне рівняння системи:

$$0,94 \cdot 10^{-2} p^3 + 13,37 p^2 + 4,43 p + 2,85 = 0$$

За допомогою ЕОМ знаходимо корені цього рівняння:

$$p_1 = -1422,009;$$

$$p_2 = -0,165 - j0,431$$

$$p_3 = -0,165 + j0,431.$$

Далі для знаходження оригіналу $h(t)$ скористаємося другою теоремою Хевісайда, суть якої в наступному: якщо зображення $F(p)$ функції $f(t)$ має вигляд:

$$F(p) = \frac{F_1(p)}{p \cdot F_2(p)} \quad (3.20)$$

тоді її оригінал дорівнює:

$$f(t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k)}{p_k \cdot F_2^1(p_k)} \cdot e^{p_k t}, \quad (3.21)$$

де p_k – корені характеристичного рівняння.

В нашому випадку:

$$F_1(p) = 2,68p + 13,44$$

$$F_2(p) = 0,0094p^3 + 13,37p^2 + 4,43p + 2,85$$

$$F_3(p) = 0,0282p^2 + 26,74p + 4,43.$$

Знайдемо значення $F_2^1(p_k)$, де p_k - корені характеристичного рівняння.

$$F_2^1(p_1) = 0,0282(-1422,009)^2 + 26,74(-1422,009) + 4,43 = 19003,39$$

$$F_2^1(p_2) = 0,0282(-0,165 - j0,431)^2 + 26,74(-0,165 - j0,431) + 4,43 = 11,51e^{-j89.88}$$

$$F_2^1(p_2) = 0,0282(-0,165 + j0,431)^2 + 26,74(-0,165 + j0,431) + 4,43 = 11,51e^{j89.88}$$

Для моделювання розробленої системи керування електроприводів використовуємо програму MathLAB, що є досить універсальною і орієнтована на розрахунок перехідних процесів у неперервних, дискретних, дискретно-неперервних, лінійних і нелінійних, стаціонарних та нестаціонарних системах. Перехідні процеси можуть бути побудовані як у функції часу, так і фазовій площині. За допомогою програми дослідимо реакцію системи на вхідну задавальну дію у вигляді одиничної ступеневої функції $U_0=1$ і збурювальну дію.

За допомогою програми MathLAB отримаємо вираз для оригіналу $h(t)$:

$$h(t) = 1 - 0,4 \cdot e^{-1422,009t} + 0,458 \cdot e^{-0,165t - j(0,431t + 89,88)} + 0,458 \cdot e^{-0,165t - j(0,431t - 89,88)}$$

а також графік перехідного процесу, який зображено на рис. 3.3.

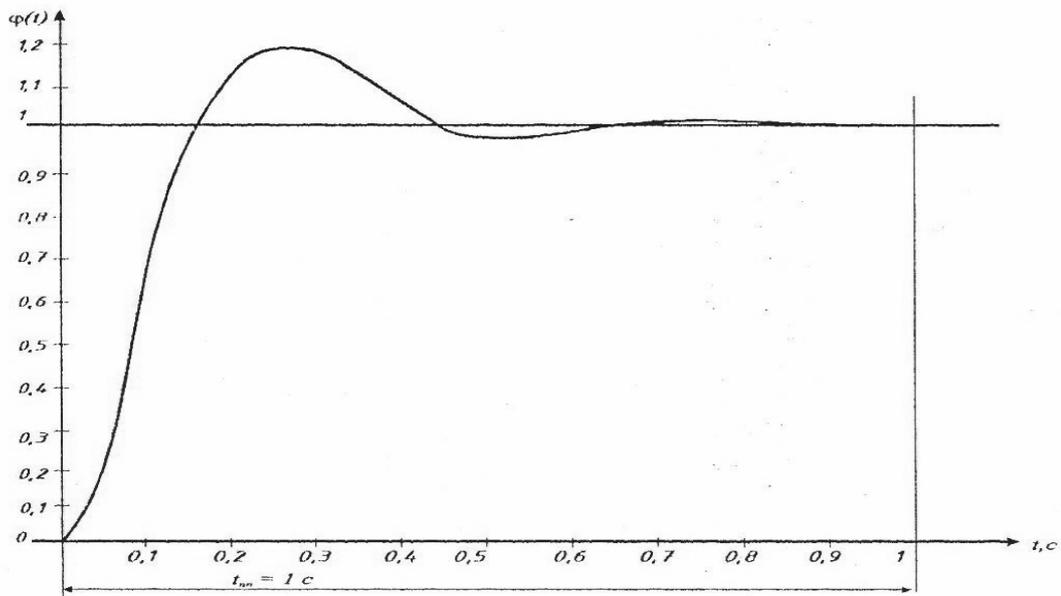


Рисунок 3.3 - Перехідна функція замкненої системи

Якість перехідного процесу характеризується величинами, які визначаємо з графіка:

- час регулювання $T_{рег} = 1c$.
- перерегулювання $\delta = \frac{h_{max} - h_{ном}}{h_{ном}} = \frac{1,2 - 1}{1} = 0,2 = 20\%$.

коливальність перехідного процесу:

- число коливань – 2;
- ступінь затухання $\psi = \frac{b_1 - b_2}{b_1} = \left| \frac{0,96 - 1}{0,96} \right| = 0,081$;
- період коливань $T = 0,65c$.

Можна зробити висновок, що всі показники знаходяться у межах норми для даного електроприводу.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було проведене дослідження діючої системи керування електроприводом компресора локомотива, проаналізовано її переваги та недоліки, сформовані напрямки модернізації електроприводу. При розробленні конструкції та технологічного процесу роботи компресора був проведений аналіз середовища та процесу роботи електровоза.

Були розраховані основні показники роботи компресора, модернізована конструкція та електропривод компресорної установки, проведений розрахунок потужності та вибір двигуна компресора, двигун перевірений на перевантаження та можливість пуску при зниженні напруги. Побудована механічна характеристика двигуна, проаналізовані її характерні точки.

Для регулювання подачі повітря відповідно до параметрів обраного електродвигуна було вирішено замінити нерегульований електропривод на більш економічний регульований по системі «Тиристорний перетворювач частоти – асинхронний двигун». Розроблені структурна та принципова схеми електроприводу. В роботі проведений розрахунок та вибір елементів модернізованої схеми.

Розроблена система автоматичного керування електроприводом компресора, у ній реалізовано принцип керування за відхиленням, а координатами керування є струм і ЕРС двигуна. Визначені передавальні функції розімкненої та замкненої системи.

Проведена оцінка стійкості та якості системи керування показала, що всі показники знаходяться у межах норми для даного електроприводу.

Таким чином, проведені дослідження свідчать про достатню якість та стійкість модернізованої системи керування електроприводом компресорної установки, це позначає, що електропривод придатний для впровадження та практичної експлуатації.

Література

1. Теорія електропривода. Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; за ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494с.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. - 560с.
3. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного Університету «Львівська політехніка», 2004.- 404 с.
4. Шефер О.В. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2020. – 154 с.
5. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інші. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інші. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч1.
6. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та інші. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посіб. за напрямом «Електромеханіка» / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та інші. – К.: Либідь, 2005. – 680 с. Ч2.
7. Гульков Г.И. Системы автоматизированного управления электроприводами: учеб. пособие / Гульков, Ю.Н. Петренко, Е.П. Раткевич, ОЛ. Симоненкова; под общ. ред. Ю.Н. Петренко. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Новое знание, 2007. – 394 с.
8. Файнштейн В.Г., Воробейчик О.С. Цифровые системы управления электроприводов: монография / Под редакцией Учителя Л.Д. – Кривой Рог: Издательство ГВУЗ «КНУ», 2014. – 159 с.

9. Лимонов Л.Г. Автоматизированный электропривод промышленных механизмов. – Х : – Изд-во «ФОРТ», 2009. – 272 с.

10. Бондаренко В.І. Основи електричного привода. Навчальний посібник – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 314 с.

11. Шефер О.В., Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 14 с.

12. В.Р. Асадченко. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2004.–120с.

13. А.А. Устинський, Б.М. Степенский, Н.А. Цибуля. Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте: уч-к для ВУЗов ж.-д. трансп., М.: Транспорт, 1985 г. - 439 с.

14. Правила улаштування електроустановок. Україна, вид. 5-е, перероб. і доп.: Видавництво «Мінпаливенерго»,– 2017. – 736 с.

15. Костин В.Н. Электропитающие системы и электрические сети: учебнометодический комплекс (учебное пособие) / В.Н. Костин .– СПб.: Изд-во СЗТУ, 2007 – 154с.

16. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи: Навчальний посібник. – Полтава: ПНТУ, 2002.

17. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами. Под ред. Круповича В.И. Барыбина Ю.Г. Самовера М.Л. – М.: Энергоиздат, 1982.

18. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елесева, А.В. Шиянско – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

19. В.М. Тарасов. Експлуатація компресорних установок – М.: Машинобудування, 1987. – 136 с.

1 TECHNOLOGICAL PART

1.1 Use compressors on avalanche transport

On the railroad transport for the safety of management, given in the series of small devices and annexes to locomotives and galvanized main lines, the drive is always hard to keep.

Compressor - tse attachment for the direction of the gas flow in a grip.

Compressor installations to reach wider, the stench is widespread in retail transport, in refrigeration units, in pneumatic annexes [2].

Additional compressors are required for the pressure of the pneumatic lines, for example, the head standoff, blocking the shields of the high-voltage chamber and the power supply of the pump when the head is running Compressi is asked to be stored from:

- electric motor to drive;
- pumping installation;
- Capacities for compressed gas;
- with complete hoses and pipes.

Electric motors, which can be used in compressor installations, can be used as a permanent and changeable stream. The movement of the changing struma move on synchronous and asynchronous (BP). Asynchronous motor into its own circuit at the IM with a short-circuited rotor and IM with a phase rotor.

For asynchronous motors with a short-circuited rotor, crosschairs for installation in compressors, economy, simplicity, design efficiency and great reliability of the robot. Shortcomings - a chain starting strum, which is 5 - 7 times changing the nominal strum of the dvigun and a small starting moment.

Asynchronous motor with a phase rotor vicoristovuyut on the road more (mainly in the center pumps). The stench of vikoristovyvat in low-sluggish if a significant starting moment is required (with a relatively small starting string). Alle, they have a folding ballast and control equipment, and it is necessary to look closely behind the brushes and rings.

Synchronous motors vikoristoyutsya in compressors of great demand (more than 100 kW). They have an even higher efficiency of pulling and the stink is not even worse before the change is made. But at the same hour, the stench of the asynchronous motor stinks and when they start up, they tend to have some shortages and the blood pressure with a short-circuited rotor.

Linear electric drives are electromagnet, magnetoelectric and inductive. Stink zastosovovatsya zdebilshy with small piston zusillah i at low piston stroke.

The pumping attachments - the attachments, which are applied to the drive, pump gas in a special unit, which is a built-in showcase that can be used to install a compressor.

The compressor installation will provide control of the locomotive and pull. For the help of the stysly povitrya, the galmuvannya pull is seen [3].

The compressor at the same time with the head tanks of the locomotive is responsible for the onset of the:

- I will become more and more unaware of the need for a strong drink in the case of the most permissible vitrate;

- the required productivity and the required grip in the head tanks for an hour;

- to preserve the temperature of the compressed food, so that it should not be fed to the galvanic main by more than 20 °C, depending on the temperature of the center;

- to exclude the ingress of condensate and olives into the galvanized main line and turn tanks;

- if there is a non-flammable compressor, there is a general service galvanizing or an extra galvanizing only for a stock of crushed food in the head reservoirs;

- a high power supply (0.003 vidmovi per 1 thousand years of robots), low pet energy resources (no more than 8 kW for a grip of 1 m³ / hv) and a pet mass of no more than 70 kg (without a motor) per 1 m³ / min of compressor feed,

Compressors are guilty of becoming unaware of the need for compressed tension with maximum vitrates and turns in pulling. The compressor robotic mode will be re-set for a short time.

At the same triviality in the compression of the compressor before the installation is allowed not more than 50%, but the triviality of the cycle up to 10 min. Compressors, zasosovani on a crumbling warehouse, as a rule, є piston, two-stage. Stasnennya revitrya in them vidbuva цїtsya last in two cylinders with intermediate cooling duvets along the steps [13].

Used in a Danish hour in a rugged warehouse of piston compressors for a number of indicators do not show them to the vimogs and are morally stale. At a rugged warehouse, there is a wear and tear of the compressor installation to the critical level, and from all the hospitality there is a meal about his replacement.

To resolve the problem, you need to give two meals:

- what type of vikoristovuvati compressor;
- the concept of health care.

We are promising in the general plan є widely implanted in our country and behind the cordon of gwint compressors.

The emergence of gwent (rotational) olive-laden noise-damping compressors of vitisnila in industrial-rozvinenny edges of piston compressors in the range of productivity from 1 to 100 m³ / min in the area of protection of airborne compressors for 15 to 15 people.

In the case of piston-type and center-type, gwent-type compressors, there are a number of perevag:

- there may be a low level of noise and vibration, small dimensions and wagons, and they can be installed without the middle on locomotives, in workshops, so it's okay, they don't need a special foundation;

- it is practically not possible to stain Olivia (2-3 mg³ / m³), on the form of large piston compressors with lubricator mastic, for example, the strength of the second screw compressors is an order of magnitude;

- Equipped with an automatic control system and control of productivity, and to that, it is safe, not to be guarded for its robot, it is a great hope, built on a trivial robot without service;

- low noise of gunting compressors, especially low productivity, sufficient, as a rule, for the life of a particular electric locomotive.

1.2 Structure and operation of the installation

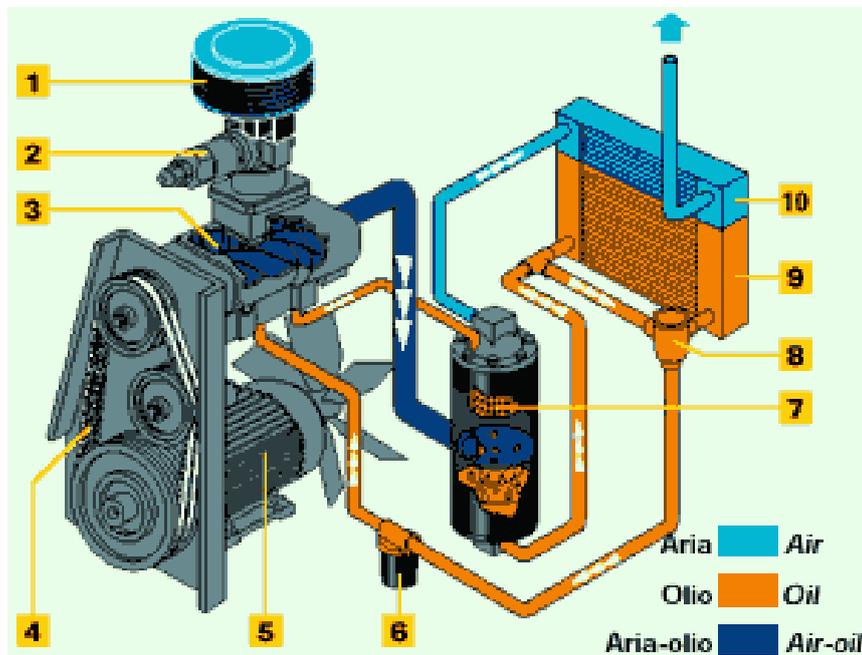


Figure 1.1 - Scheme of operation of the screw compressor

The compressor unit is made on the basis of a screw single-stage oil-filled compressor type CF75EG1. Execution of installation is block that provides its fast installation and commissioning (fig. 1.1).

Components of the screw compressor:

1. The suction air filter cleans the air entering the compressor from the environment and usually consists of two parts: a pre-rectangular filter mounted directly on the compressor housing at the location of the air barrier and a filter installed in front of the suction valve.

2. The suction valve is designed to regulate the performance of the compressor (usually has two positions - open-closed, regulation - the transition to idling; there are proportional valves). Has pneumatic control.

3. The screw unit is the basis of the screw compressor, is two rotors made on the basis of high-precision machining technology, installed inside the housing.

4. The belt drive is two pulleys, one on the engine and the other on the screw pair, setting the speed of rotation of the rotors. For the same motor, changing the gear

ratio reduces the speed of rotation of the helical pair, but increases the applied force.

The technical characteristics of the compressor change as follows: the higher the speed, the higher the productivity, but the maximum operating pressure is lower (this is due to the service life of the screw pair bearings and the power of the drive motor). In powerful compressor installations the reducer or direct transfer through the coupling is applied.

5. The motor rotates the screw pair through a belt drive, reducer, or clutch.

6. The oil filter is designed to clean the oil before returning to the screw pair.

7. The oil separator is a metal tank of a special shape. In the middle of the tank is a metal partition with holes. Purification of air from oil occurs at first under the influence of centrifugal force at twisting of a stream and the special oil-separating filter. Thanks to the complex cleaning system it is possible to achieve the minimum balance of oil steam on a compressor exit equal to 3 mm. rt. Art.

8. The thermostat provides a temperature mode. Until the oil reaches a temperature of 72 degrees, it passes it past the cooling radiator, and thus accelerates the output of the compressor to the optimum temperature. In addition, at low compressor temperatures, the formation of condensate is undesirable.

9. Oil cooler is designed to cool hot oil after separating it from the compressed air.

10. The final air cooler is designed to cool compressed air before supplying it to the consumer.

Provides an outlet temperature 15-20 ° C above ambient temperature. The design provides a safety valve, which is a safety device and is triggered in case of excess pressure in the oil separator tank above the maximum value. The piping system has three circuits: air, oil, and light oil mixture.

There is also a pressure switch that sets the parameters of the compressor for pressure. The compressor reaches the set maximum pressure, then goes into idle mode, and after the pressure drops to the set minimum pressure, turns on again. As a rule, two parameters are regulated in the pressure switch: the maximum pressure and delta, ie a difference between the maximum and minimum pressure.

The new compressor models do not use a pressure switch, but use an electronic control system. The unit of electronic control and monitoring of the compressor provides control of its work, transfer to the display of working parameters, and also protection against undesirable phenomena.

Some designs provide a fan that draws air from the environment and simultaneously cools the motor, radiators and propeller steam. At work of installation atmospheric air through air the filter equipped with the indicator of obstruction, and the soaking-up valve arrives in the compressor (fig. 1.2) where oil necessary for cooling of compressed air, consolidation of backlashes between working bodies of the compressor - rotors, oil of bearings and heat removal from them arrives at the same time.

An oil-air mixture is formed in the compressor, which is compressed to the set operating pressure and then fed to the oil separator. In the oil separator, the air is cleaned of oil and enters the distribution line, where the minimum pressure valve, air cooling unit and cyclone separator are installed.

Air is supplied to the consumer through a valve.

Condensate is removed automatically. The oil separated from the air in the oil separator enters the oil cooler unit, where it is cooled by the air flow created by the fan. Next, the cooled oil is cleaned in the oil filter, from where it enters the suction cavity through the control valve and for lubrication of the rotor bearings from the suction side, sealing the gaps and heat dissipation. On the second branch oil arrives on greased

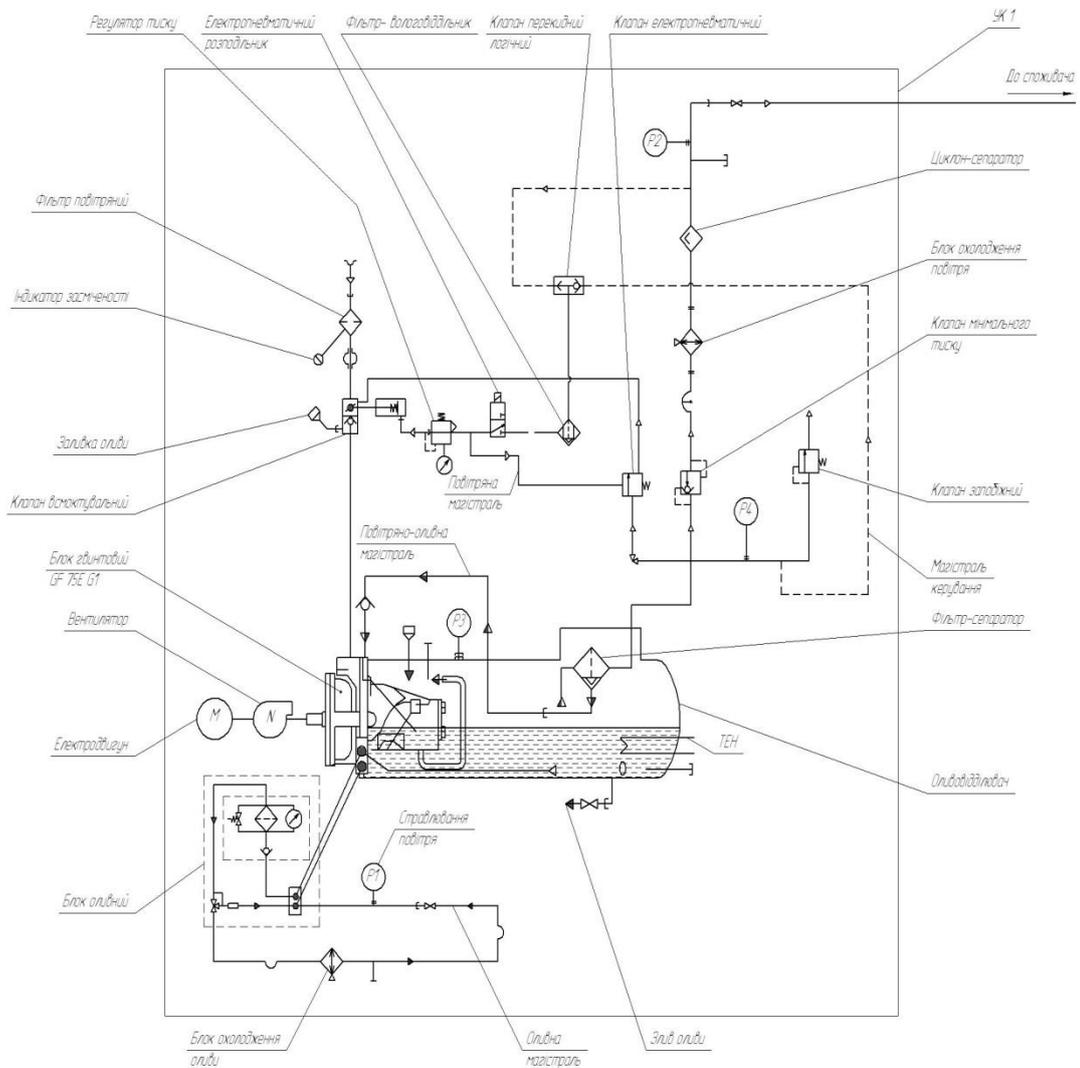


Figure 1.2 - Combined scheme of the compressor

1.2 Setting tasks for qualifying work

The purpose of this qualification work is to modernize the compressor control system. To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

- to analyze the shortcomings of the electric drive, which is standardly used on the electric locomotive;
- calculate the parameters of the newly installed installation;
- to modernize the control scheme of the electric drive of the compressor unit to calculate and select the power elements of the system;
- check the upgraded system for quality and stability.

Вигляд загальний локомотива з компресорною установкою

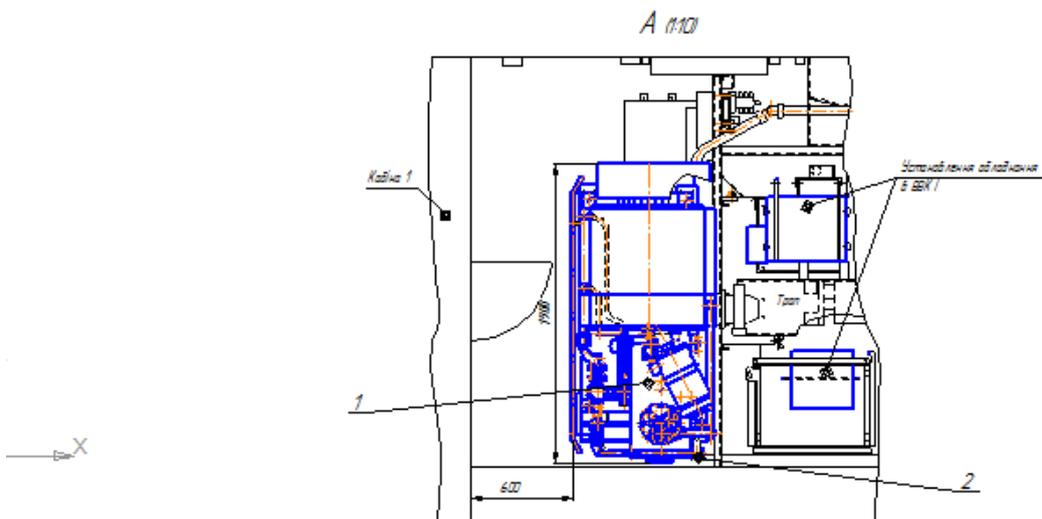
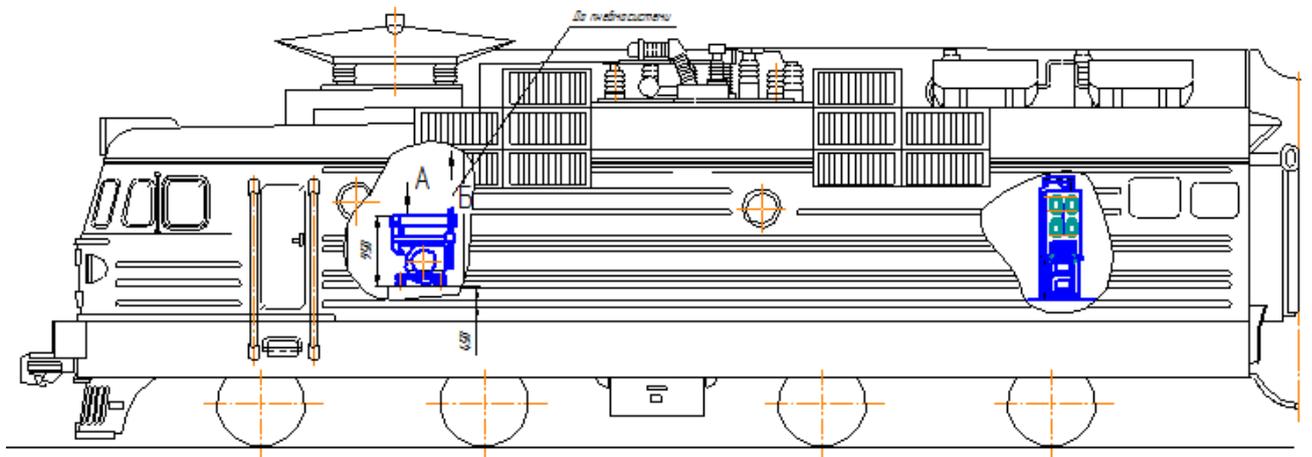
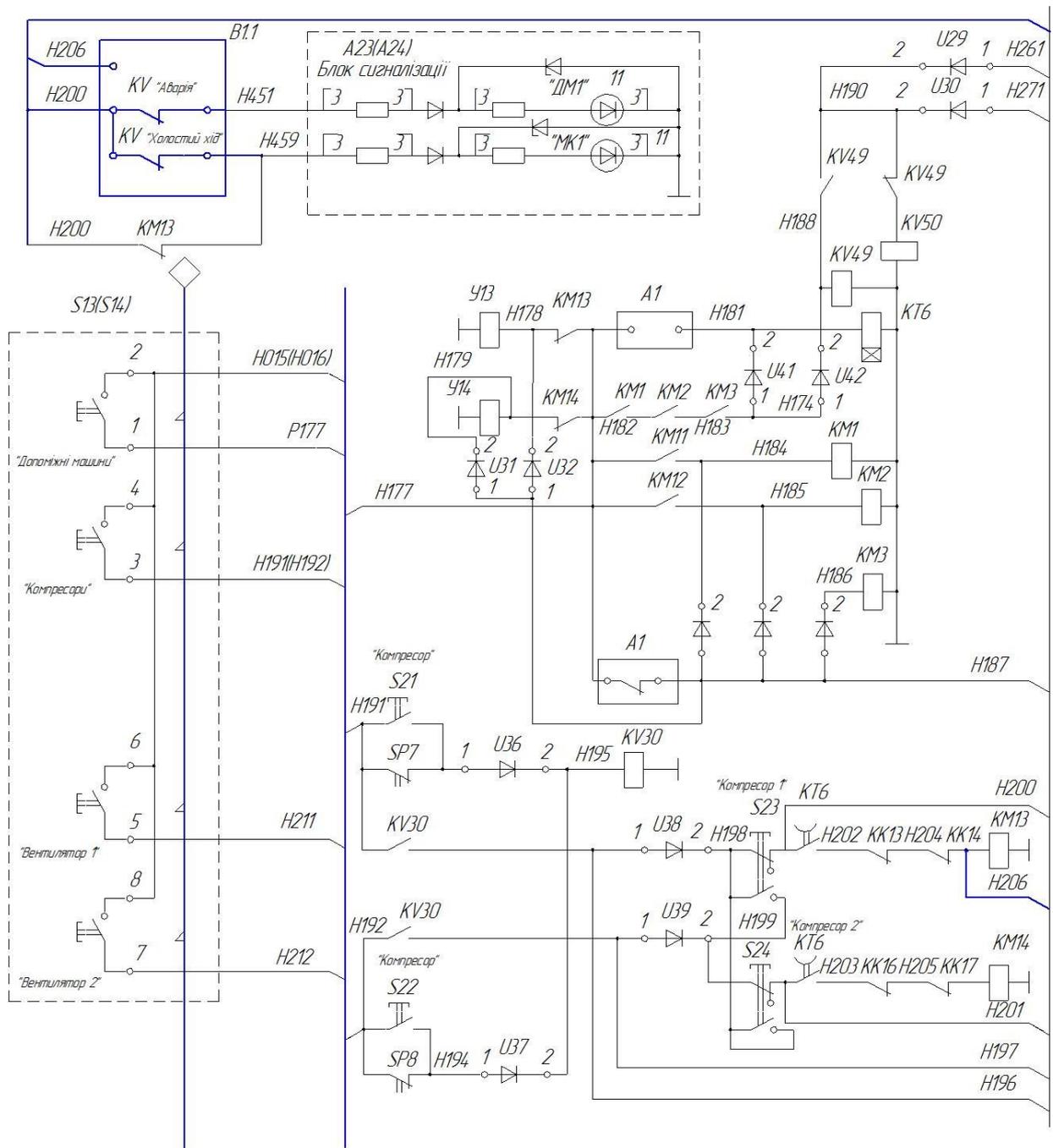


Схема електрична принципова керування компресорною установкою



Структурна схема електроприводу компресора з ПЧ

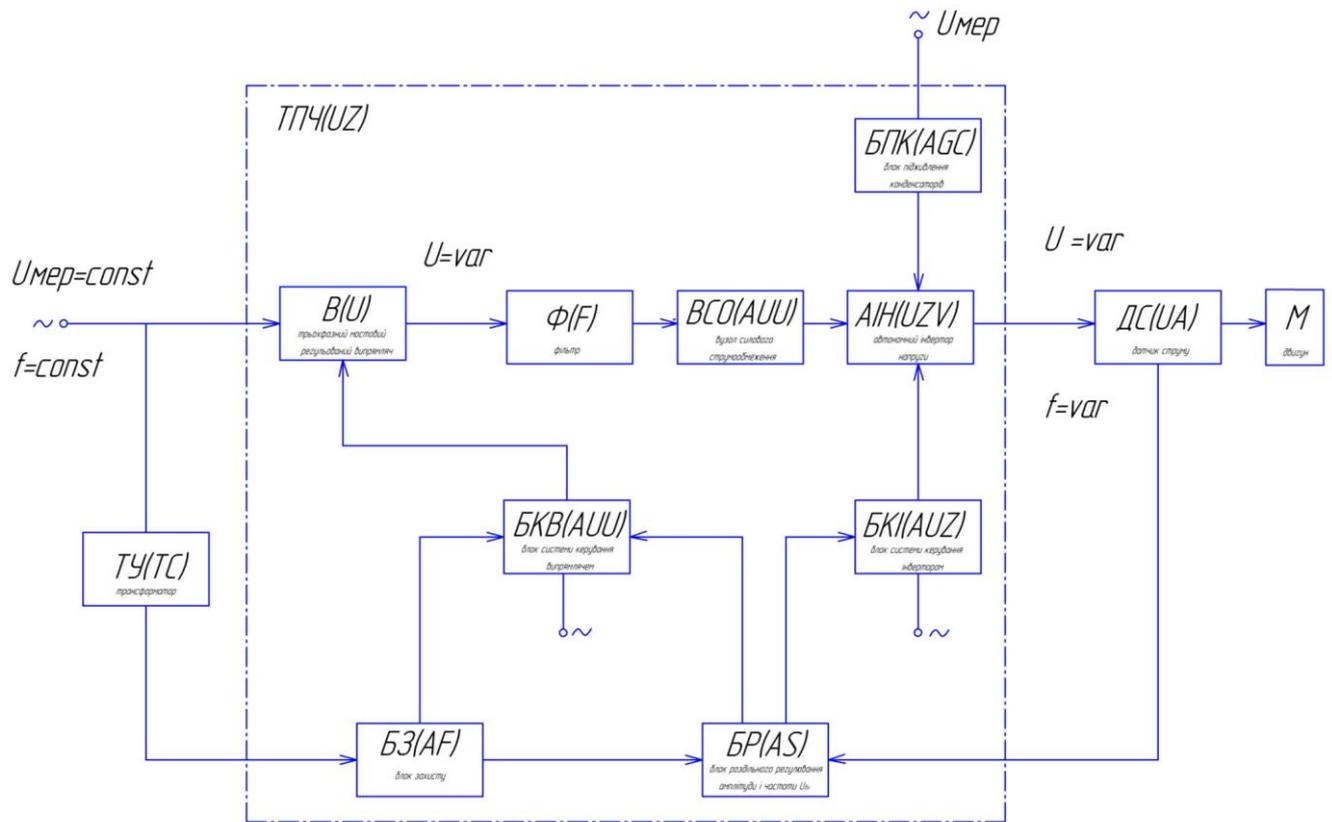
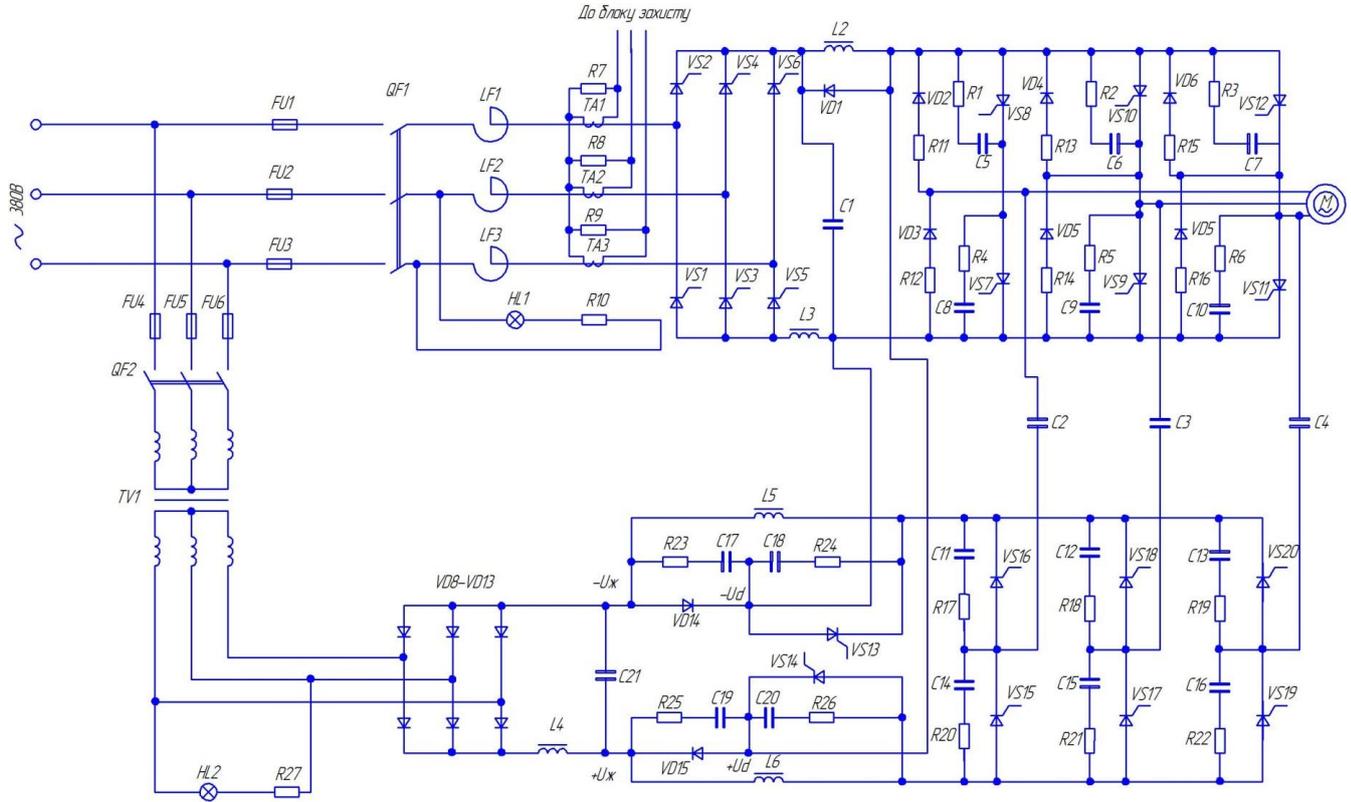


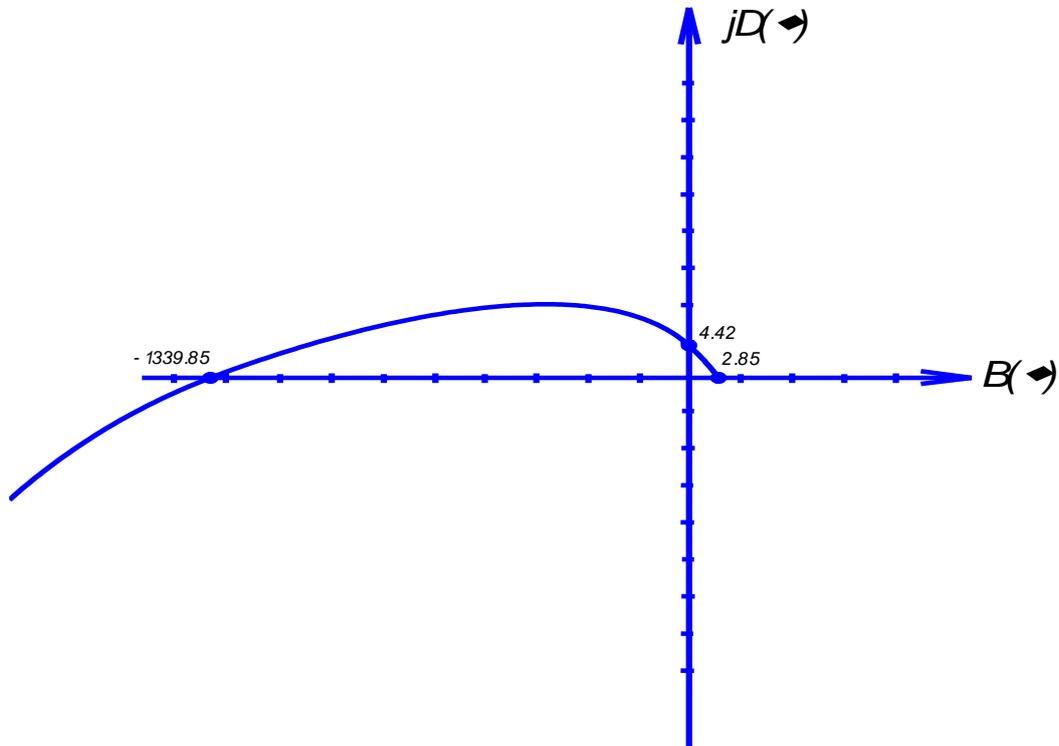
Схема електрична принципова ЕП компресора з ПЧ



Визначення стійкості системи

$$M(\omega) = B(\omega) + jD(\omega)$$

$$M(\omega) = j(4,43\omega - 0,94 \cdot 10^{-2} \cdot \omega^3) + 13,37\omega^2 + 2,85$$

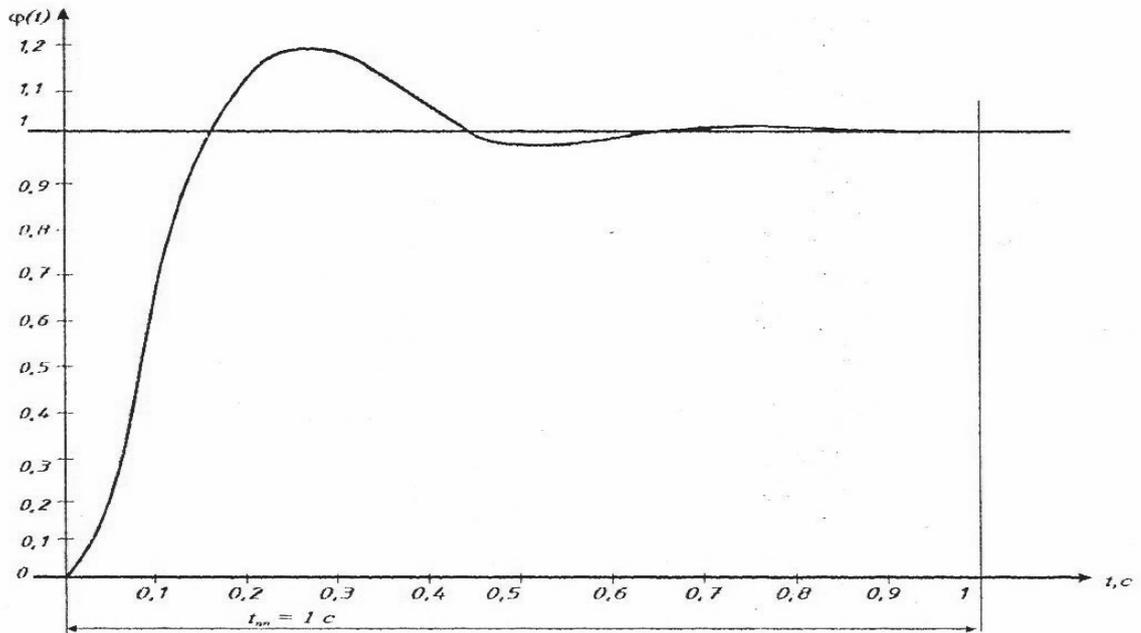


Система стійка за критерієм Михайлова, так як годограф Михайлова починається на дійсній напіввісі, при зміні частоти від 0 до нескінченності проходить проти годинникової стрілки, починаючи з першого квадранту послідовно 3 квадранти комплексної площини, тут 3 – порядок характеристичного рівняння замкненої системи.

Визначення якості системи

Характеристичне рівняння системи:

$$0,94 \cdot 10^{-2} p^3 + 13,37 p^2 + 4,43 p + 2,85 = 0$$



- час регулювання $T_r = 1$ с
- перерегулювання 20%
- число коливань – 2;
- ступінь затухання 0,081;
- період коливань $T=0,65$ с.

Всі показники знаходяться у межах норми для даного електроприводу.

