

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра

Освітній ступінь

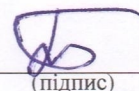
Галузь знань

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітня програма Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: «Вдосконалення системи подачі повітря до камери згоряння»

Виконав: студент IV курсу, групи 4311

Полієнко Юрій Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник ст. викл. каф. автоматики, доц. НУК Фоменко А.М.

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

Нормоконтроль викладач каф. автоматики, Савченко О.В.

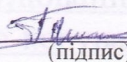
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н., доц. Новоргоцький С.М.

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

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

О.Г. Васильєв
«17» 06 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ**

Полієнко Юрій Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вдосконалення системи подачі повітря до камери згоряння»

керівник роботи Фоменко Андрій Миколайович, старший викладач, доцент НУК,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22» квітня 2026 року
№ 286-УЧ.

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Двигун постійного струму з потужністю 4 кВт. Напруга живлення системи 380 В. Двоконтурна система керування 4. Час перехідного процесу не більш 1.0с. Перерегулювання не більш 27%

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис складу котельного агрегату 2 Аналіз устаткування котельної установки, 3 Опис комплектного електропривода «Кемток» 4 Розрахунок і аналіз автоматичної системи управління приводів вентиляторів, 5 Охорона праці

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

1 Схема котельного агрегату з основними точками регулювання, 2 Аеродинамічна схема вентилятору, 3 Загальна схема автоматизованого керування подачі повітря, 4 Функціональна схема електропривода «КЕМТОК», 5 Структурна схема електроприводу «КЕМТОК» для аналізу динаміки, 6 Статичні та динамічні характеристики приводу

6. Консультанти розділів роботи

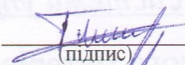
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 02.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

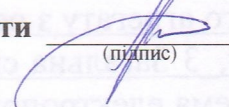
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис складу котельного агрегату	07.02.26	
2	Аналіз устаткування котельної установки	21.02.26	
3	Опис комплектного електропривода «Кемток»	14.03.26	
4	Розрахунок і аналіз автоматичної системи управління приводів вентиляторів	11.04.26	
5	Охорона праці	16.05.26	
6	Графічна частина	06.06.26	

Студент


(підпис)

Полієнко Ю.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Фоменко А.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 81 с., 5 р., 37 рис., 13 джерел.

Ключові слова: електропривод постійного струму, привод подач, перехідна характеристика, свердлильний верстат, двоконтурна система керування.

Мета роботи – підвищення показників електропривода подачі повітря до камери згоряння та привода автоматизованої засувки шляхом здійснення заміни існуючої системи керування на більш сучасну.

У Кваліфікаційній роботі розглянуті питання підвищення показників надійності системи керування, та контролю подачі повітря в топку котельного агрегату.

Розглянута принципова технологічна схема ділянки котельної установки, та приведені основні теоретичні дані її використання.

Підвищення надійності відбувається внаслідок впровадження системи автоматичного керування.

Для забезпечення високих показників якості керування, була проаналізована, та вибрана система автоматичного керування з зворотнім зв'язком по швидкості та струму для компресорних установок і система автоматичного керування з зворотнім зв'язком по положенню та струму для механічного шаберу.

У роботі також розглянуті питання з охорони праці.

ЗМІСТ

Зміст

Вступ.....	7
1. Опис складу котельного агрегату	
1.1 Загальні відомості.....	9
1.2 Схема котельного агрегату.....	9
1.3 Схема котельної установки.....	13
1.4 Основні типи топкових пристроїв.....	14
2. Аналіз устаткування котельної установки	
2.1 Постановка задачі автоматизації котельного агрегату.....	18
2.2 Загальні відомості про компресорні установки.....	28
2.3 Пристрій і робота відцентрових і осьових вентиляторів.....	29
2.4 Характеристики вентиляторів.....	32
2.5 Схема механічного шаберу.....	36
3. Опис комплектного електропривода «Кемток»	
3.1 Загальні відомості.....	37
3.2 Силова схема.....	38
3.3 Регулятор швидкості.....	38
3.4 Регулятор струму.....	44
3.5 Блок нелінійного струмообмеження БНТО.....	45
3.6 Система імпульсно-фазового управління (СІФУ).....	47
4. Розрахунок і аналіз автоматичної системи управління приводів вентиляторів	
4.1 Вибір двигуна і комплектного електроприводу.....	55
4.2 Розрахунок параметрів і вибір трансформатора, і тиристорного перетворювача.....	56
4.3 Обмеження зрівняльних струмів.....	58
4.4 Обмеження струму при однофазному перекиданні інвертора.....	59
4.5 Обмеження струму через тиристори при короткому замиканні на стороні постійного струму.....	59

4.6 Згладжування пульсацій випрямленого струму.....	60
4.7 Розрахунок параметрів об'єкту регулювання для аналізу динамічних властивостей системи.....	61
4.8 Розрахунок параметрів регулятора і елементів контура регулювання струму якоря в системі підлеглого регулювання.....	62
4.9 Розрахунок параметрів регулятора контура швидкості.....	65
4.10 Налаштування ПІ – регулятора швидкості.....	66
4.11 Розрахунок параметрів регулятора швидкості.....	67
4.12 Побудова статичних характеристик.....	68
4.13 Розрахунок перехідних процесів.....	68
5. Охорона праці	
5.1 Розрахунок захисного заземлення установки з приводом постійного струму	77
5.2 Розробка заходів по забезпеченню безпечної експлуатації електроустановки з приводом постійного струму	78
Висновки.....	80
Список літератури.....	81

ВСТУП

Розвиток господарства нашої країни безпосередньо пов'язаний з електрифікацією, зокрема все більше і більше значення в системах комплексної механізації та автоматизації відіграє електропривод. У теперішній час автоматизований електропривод є основою комплексної механізації та автоматизації промислових процесів. Автоматизація дозволяє звільнити значну кількість обслуговуючого персоналу від постійних чергувань, під час яких у деяких випадках за зміну відбувається усього декілька переключень. Введення автоматичного контролю сприяє покращенню якості обслуговування основного технологічного процесу.

Водяна пара широко застосовується як робоче тіло на електричних станціях і як теплоносіє для технологічних (випаровування, сушка, нагрівання і т. п.) і опалювальних цілей. Пару з води одержують в котельних агрегатах (парогенераторах, парових котлах), що проводять пару заданих параметрів.

Котлоагрегати, як і турбоагрегати і електрогенератори, експлуатуються безперервно протягом декількох тисяч годинників. На могутніх теплових електростанціях застосовуються блоки парогенератор — турбіна — електрогенератор. Тому до них пред'являються особливо високі вимоги відносно надійності і високої економічності основних агрегатів.

Сучасний могутній котельний агрегат (парогенератор) є крупною інженерною спорудою, складним комплексом технічних пристроїв і механізмів.

Складність і різноманітність устаткування, габарити споруди, вартість і складність експлуатації обумовлюють важливу роль котельних установок на могутніх електростанціях. Тому прогрес крупної енергетики найтіснішим чином пов'язаний саме з розвитком енергетичного парогенераторобудування.

Котельна установка є складним комплексом машин і механізмів, що працюють в єдиному технологічному потоці. До складу котельної установки, окрім основного виробництва, входять декілька цехів: підготовки води, підготовки і транспортування палива, теплопостачання споживача мереженою водою для опалювання і водою для гарячого водопостачання і ін. У кожному з цих цехів знаходяться агрегати і двигуни, багато хто з яких автоматизовані, сполучені між

собою певними залежностями або входять в систему АСУ (автоматичну систему управління). Але всі ці допоміжні цехи і установки або направлені на створення безперебійної роботи котлоагрегата і турбін ТЕЦ, або є пристроями, покликаними розподіляти енергію, що виробляється теплосиловою установкою.

Основним енергоємним агрегатом, від якого залежить економічна робота теплової станції, залишається котельний агрегат. Тому особливе значення надається системі регулювання теплового процесу котельного агрегату.

Для забезпечення процесу горіння палива в топку повинна бути подана певна кількість повітря, кисень якого необхідний для повного згорання палива. Надлишок повітря, що подається, викличе підвищене віднесення тепла з топковими газами і приведе до переохолодження топкового простору, а недостатня подача повітря — до неповного згорання палива. Тому відповідна витраті палива подача повітря є другим завданням, яке повинна забезпечувати система автоматичного регулювання.

Задачею даної кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи регулювання подачі повітря в топку котельного агрегату.

1 Опис складу котельного агрегату

1.1 Загальні відомості

Водяна пара широко застосовується як робоче тіло на електричних станціях і як теплоносіє для технологічних (випаровування, сушка, нагрівання і т. п.) і опалювальних цілей. Пару з води одержують в котельних агрегатах (парогенераторах, парових котлах), що проводять пару заданих параметрів.

Котлоагрегати, як і турбоагрегати і електрогенератори, експлуатуються безперервно протягом декількох тисяч годинників. На могутніх теплових електростанціях застосовуються блоки парогенератор — турбіна — електрогенератор. Тому до них пред'являються особливо високі вимоги відносно надійності і високої економічності основних агрегатів.

Сучасний могутній котельний агрегат (парогенератор) є крупною інженерною спорудою, складним комплексом технічних пристроїв і механізмів.

Складність і різноманітність устаткування, габарити споруди, вартість і складність експлуатації обумовлюють важливу роль котельних установок на могутніх електростанціях. Тому прогрес крупної енергетики найтіснішим чином пов'язаний саме з розвитком енергетичного парогенераторобудування.

Котельні установки меншого масштабу вельми поширені в численних галузях народного господарства — на промислових теплоелектростанціях, призначених для комбінованого вироблення теплоти і електричної енергії, вони використовуються як пристрої, що виробляють пару або гарячу воду (у водогрейних котлах) для виробничих і опалювальних цілей і т.п.

1.2 Схема котельного агрегату

Котельний агрегат (рисунок 1.1) складається з наступних елементів: власне парового котла 7, 10, 9, пароперегрівача 12, водяного економайзера 14, повітряпідогрівача 15, топкового пристрою 2, обмурівки 16, каркаса 5, арматури, гарнітури і сполучних комунікацій (труб і каналів).

Призначення парового котла (як елементу котлоагрегата) — перетворення води, що поступає в нього, в насичену пару заданого тиску. Котел складається з розрідженого пучка труб — фестона 10, системи екранних труб 9 і барабана 7.

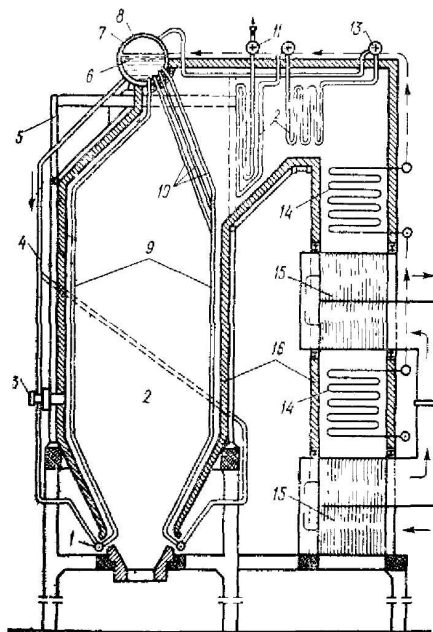


Рисунок - 1.1 Схема котельного агрегату

Розміщені біля стін топкі екранні труби 9 розташовані вертикально. З барабана 7 по опускним трубам 4 до нижніх колекторів 1 екранних труб підводиться вода. Топкові екрани сприймають теплоту від продуктів згорання палива, що заповнюють топковий простір 2 і інтенсивно випромінюючих. Тому в екранних трубах частина води перетворюється на пару. Пароводяна суміш рухається від низу до верху і відводиться в барабан котла 7. Тут пара відділяється від води і поступає в паровий простір 8, а вода з водяного простору 6 — в опускні труби 4. Так здійснюється безперервний рух води по замкнутому шляху, званий природної циркуляцією води і що відбувається унаслідок різниці щільності пароводяної суміші (у екранних трубах) і води (у опускних трубах)

У екранах утворюється основна кількість пари, вироблюваної котлом. Вони служать також для оберігання стін топку від дії топкових газів, що мають велими високу температуру, і для запобігання ошлакуванню топку.

Фестонні труби 10 є продовженням екранних труб, розміщених біля задньої стінки топку. Вони утворюються шляхом розводки труб заднього однорядного екрану в декілька рядів. Таким чином утворюється пучок труб, якому те-

плота передається випромінюванням і конвекцією. При цьому продукти згорання охолоджуються до заданої температури перед пароперегрівачем. Фестони застосовуються для запобігання ошлакуванню, а також для захисту конвективного пароперегрівача від випромінювання тих, що заповнюють топку продуктів згорання.

У барабані котла 7, як правило, встановлюють ті, що сепарують пристрої для відділення води від пари, що забезпечує отримання практично сухої насиченої пари.

Пароперегрівач 12 призначений для перегріву насиченої пари до заданої температури. Він складається з групи паралельно включених зігнутих труб-змійовиків, приєднаних до колекторів. Насичена пара з парового простору барабана котла по трубах поступає у вхідний колектор 13 *пароперегрівача*, далі в змійовики, де перегрівається до необхідної температури, а звідти поступає у вихідний колектор 11 *п до споживача*. Основне призначення водяного економайзера 14 *полягає* в підігріві живильної води. У сталевих економайзерах енергетичних котлоагрегатів вода нерідко нагрівається до температури кипіння і частина її перетворюється на пару. Такі економайзери називаються киплячими. Конструкція сталевих економайзерів аналогічна конструкції пароперегрівача. Вода подається живильним насосом у вхідний (нижній) колектор економайзера, проходить по змійовикам, поступає у вихідний колектор, а звідти — в барабан котла.

Повітряпідігрівач 15 служить для підігріву повітря, що поступає в топку, за рахунок тепла продуктів згорання. На рисунку 1.1 показаний трубчастий двоступінчатий повітряпідігрівач рекуперативного. У ньому газу рухаються зверху вниз усередині труб, омиваних зовні поперечним потоком повітря. У сучасних могутніх котлоагрегатах все частіше застосовуються компактніші регенеративні повітряпідігрівачі, що обертаються .

У топці 2 спалюється тверде паливо у вигляді пилу. Суміш палива і повітря поступає в топкову камеру з пальників 3, тут вона запалала і горить. Топковий пристрій повинен забезпечувати максимальний ступінь повноти спалювання палива при мінімальній кількості надмірного повітря, а також охолодження

продуктів згорання палива до визначеної, заданій умовами проектування, температури. Для інтенсивного охолодження продуктів згорання в топці розміщені радіаційні поверхні нагріву у вигляді екранів 9.

Обмурівка 16 є стінами і перекриттями котельного агрегату, виконаними з цеглини або із спеціальних плит і щитів. Вона відокремлює від зовнішнього простору топку і газоходи (канали), в яких розміщені поверхні нагріву і по яким рухаються продукти згорання. Внутрішня частина обмурівки топкі, виконувана з вогнетривких матеріалів, називається футеруванням. Обмурівка повинна володіти хорошими теплоізоляційними властивостями, щоб забезпечити невисоку температуру її зовнішній поверхні і запобігти втратам теплоти в навколишнє середовище. Вона також повинна бути щільною, забезпечувати мінімальні присоси зовнішнього повітря в газоходи, що працюють, як правило, під розрідженням.

На каркас 5 спираються всі елементи котельного агрегату і його обмурівки. Він виконується у вигляді металевої (іноді залізобетонній) конструкції з колон і балок і у свою чергу спирається на фундамент.

Котельний агрегат обладнаний рядом пристосувань і пристроїв, що носять назву арматури і гарнітури. До арматури відносяться: манометр, водовказівні прилади, запобіжні, живильні, автоматичні, зворотні, парові, спускові і продувальні клапани. Останнім часом до арматури відносять також вимірювальні і регулюючі прилади. Гарнітура агрегату — це переважно чавунні деталі: дверці, кришки люків, очки в обмурівці, заслінки для регулювання тяги і т. п., а також обдувочі пристрої для очищення поверхонь нагріву від відкладень летючої золи.

Сполучні комунікації агрегату складаються з труб, що підводять воду до екранів і відвідних з них пароводяну суміш, із сполучних труб між економайзером і барабаном котла і між котлом і пароперегрівачем, з повітропроводів — каналів для підведення повітря і інших дрібніших внутрішніх комунікацій.

На рисунку 1.1 показана прийнята у вітчизняному парогенераторобудуванні П- образна компоновка агрегату. Для неї характерний наявність двох вертикальних шахт — топковій і конвективній — і сполучного газоходу, розташованого зверху. Продукти горіння, що утворюються в топці, рухаються в топковому

просторі від низу до верху, омивають фєстон і прямують в сполучний газохід, де розташований пароперегрівач, потім поступають в конвективну шахту і рухаються в ній зверху вниз, омиваючи послідовно поверхні нагріву водяного економайзера і повітряпідігрівача. Охолоджені продукти горіння відсисаються димососом і через димар віддаляються в атмосферу. У разі потреби (при роботі на зольному паливі і великій потужності парогенератора) продукти згорання заздалегідь очищаються в спеціальних пристроях від летючої золи.

1.3 Схема котельної установки

Котельна установка (рисунок 1.2) складається з одного або декількох котлоагрегатів 6 і додаткового устаткування: тягодуттєвих установок (вентиляторів 8, димососов 10, димаря 11) для подачі повітря в топку і видалення продуктів згорання (димових газів) з котельній, пристроїв для видалення шлаків і золи 7, золоулавлювача 9 для очищення продуктів згорання від летючої золи, живильних насосів 1 для подачі води в котельний агрегат, топливоприготувального устаткування (у установках, що спалюють тверде паливо у вигляді пилу) для сушки і розлому палива (млинів 3, пилепроводів 4), живильних трубопроводів 2, паропроводів 5 і пристроїв для теплового контролю і автоматичного управління роботою котельної установки.

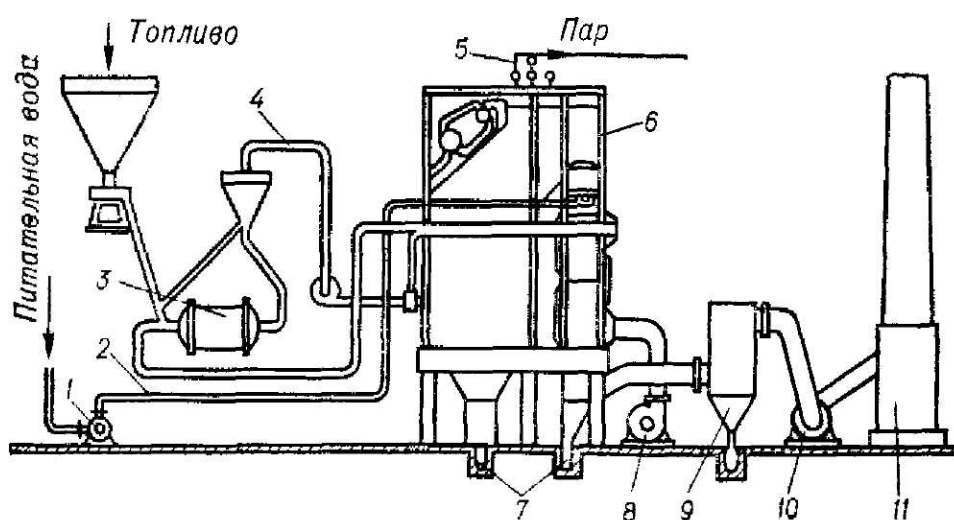


Рисунок - 1.2 Схема котельної установки

Котельну установку обслуговують система топливоподачі і водопідготувального пристрою для очищення живильної води від розчинених в ній солей і газів.

Продуктивність котельних установок і параметри (тиск і температура) вироблюваної ними пари коливаються в широких межах залежно від призначення установок. Стаціонарні котельні установки за призначенням можна розділити на такі основні групи:

а) енергетичні, обслуговуючі теплові електричні станції; продуктивність їх обчислюється сотнями і тисячами тонн пари в годину, тиск пари складає 10 ~ 30 *Mpa*.

б) промислові або виробничо-опалювальні, призначені для постачання парою технологічних апаратів і опалювання промислових підприємств; їх продуктивність досягає звично десятків тонн пари в годину, а тиск 4 *Mpa*.

в) чисто опалювальні, що виробляють в невеликій кількості (декілька сотень кілограмів або декілька тонн в годину) пар низького тиску (до 1,5 *Mpa*).

Крім того, на теплоелектроцентралях і в опалювальних котельних установках застосовуються котли, що виробляють гарячу воду для потреб опалювання і гарячого водопостачання. Широко застосовуються на теплових електростанціях котлоагрегати з тиском 10-14 *Mpa* і температурою пари 545° С, а також агрегати з ще вищим тиском 26 *Mpa*. Споруджені котлотурбінні блоки, обладнані котлоагрегатами з одиничною продуктивністю 950, 1600 і 2500 *t* пари в час.

1.4 Основні типи топкових пристроїв

У котельних установках залежно від властивості палива і продуктивності агрегату застосовують топки різних конструкцій. Топковий пристрій повинен бути надійним і економічним в експлуатації, характеризуватися високою продуктивністю при простоті конструкції, обслуговування і ремонту.

По методу організації процесу спалювання топки діляться на шарові і камерні. У шарових топках спалюють тверді палива. У них процес горіння значною мірою відбувається в шарі палива, лежачому на ґратах, складених з колосників (чавунних балочок). У камерних топках горіння відбувається повністю в

топковій камері. У них спалюють тверде, рідке або газоподібне паливо. Камерні топки у свою чергу залежно від аеродинаміки бувають факельні (прямоточні) і вихрові (циклонні). Вихрові топки для твердого палива по ряду ознак займають проміжне положення між шаровими і факельними. Існують комбіновані факельний-шарові топки.

Принципова схема шарового способу спалювання палива представлена на рисунку 1.3.

Для якісної роботи в шарову топку потрібно подавати заздалегідь сортоване паливо. У разі спалювання несортваного рядового палива, що містить значну кількість дрібниці (0-6 мм), економічність і продуктивність шарової топки різко падають.

У простих топках (см рисунок 1.3) шар твердого палива лежить нерухомо на складених з колосників гратах, в механічних топках шар палива поволі переміщається по колосниковим гратам або разом з ними. Необхідне для горіння повітря 3 підводиться знизу під колосникову грату 2 і через отвори в ній проникає в шар палива 1. Продукти згорання 5 разом з надмірним повітрям поступають з шару в топковий простір, рухаються в ньому від низу до верху і далі прямують в газоходи котла. Осередкові залишки 4 (шлак і провал) віддаляються вниз в зольник (піддувало) і звідти — за межі котельній.

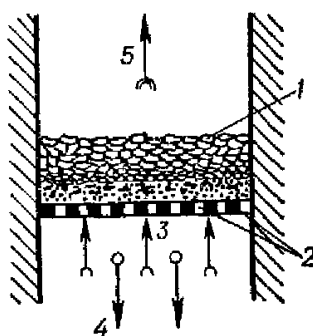


Рисунок - 1.3 Схема шарового способу спалювання палива:

1 — паливо; 2 — колосникові грати; 3 — повітря;
4 — осередкові залишки; 5 — продукти згорання.

Для забезпечення безперервного підведення повітря до шару палива потрібно створити різницю тиску повітря над шаром і під ним. Опір шару шлаку і палива, а також колосникової грати може бути подолано або за рахунок надмірного тиску повітря під гратами (в результаті застосування дуття), або за рахунок розрідження — пониження тиску газів над шаром (в результаті дії тяги). Перший спосіб переважно за рахунок меншого присоса повітря в топку при відкритих завантажувальних дверцях і можливості створення значного надмірного тиску повітря під гратами. Тому в даний час навіть в невеликих котельних установках широко застосовується дуття вентилятора.

Процес горіння в шаровій топці не закінчується повністю в шарі палива. Він в тій чи іншій мірі переноситься в юпочний простір і закінчується в ньому. У топковому просторі над шаром згорають летючі речовини, що виділилися з палива, і дрібні тверді частинки, що відносяться з шару потоком газів, а також догорає окисел вуглецю, що утворився при горінні на гратах нелеткого залишку (коксу).

Принципова схема факельної топки представлена на рисунку 1.4. Тут в топкову камеру подається суміш палива і повітря. Паливо запалало і горить на льоту в топковому просторі. У аеродинамічному відношенні факельний спосіб спалювання характеризується прямоточністю — безперервним рухом палива разом з потоком повітря і продуктів згорання в топковій камері.

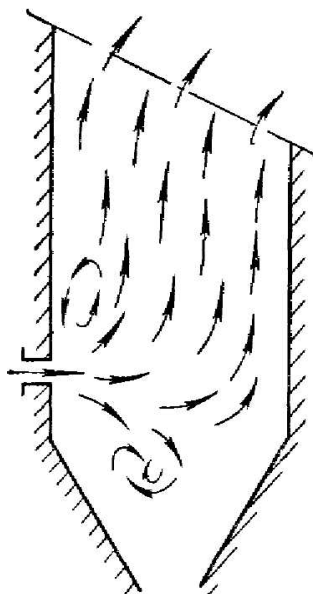


Рисунок - 1.4 Схема факельного способу спалювання палива

Факельні топки універсальні — в них можна спалювати будь-яке паливо. Найбільш прості по конструкції факельні топки для газоподібного палива. В них не вимагається попередньої підготовки палива, слід лише забезпечити хороше перемішування горючого газу з повітрям до надходження їх в топкову камеру. Рідке паливо заздалегідь дрібно розпилюють за допомогою форсунок, а тверде — розмелюють в млинах і спалюють потім у вигляді тонкого пилу, що вдувається в топкову камеру в суміші з повітрям.

Розрізняють факельні топки з сухим і з рідким шлаковидаленням. У найбільш поширених факельних топках з сухим шлаковидаленням в шлаковий бункер топки випадає невелика частина золи палива — в середньому близько 15%. Решта частини у вигляді летючої золи несеться продуктами горіння в газоходи котла. У топках з рідким шлаковидаленням з топки може бути видалено 30—60% всієї золи палива.

Принципова схема вихрового способу спалювання показана на рисунку 1.5. Найбільш важливим типом вихрових топок є циклонні топки для спалювання твердого палива. Камери згорання цих топок виконуються у вигляді горизонтальних (слабо нахилених до горизонту) або вертикальних циліндрів. Повітря підводиться тангенціальне великою швидкістю, що створює в циклонній топці інтенсивний вихровий рух повітря і продуктів згорання, разом з якими рухаються і частинки палива. Вони відкидаються відцентровою силою до периферії камери горіння, де створюється своєрідний рухомий паливний шар. Найбільш дрібні частинки згорають на льоту вельми швидко, а крупні частинки знаходяться в обертальному русі в межах цього шару протягом часу, необхідного для їх згорання.

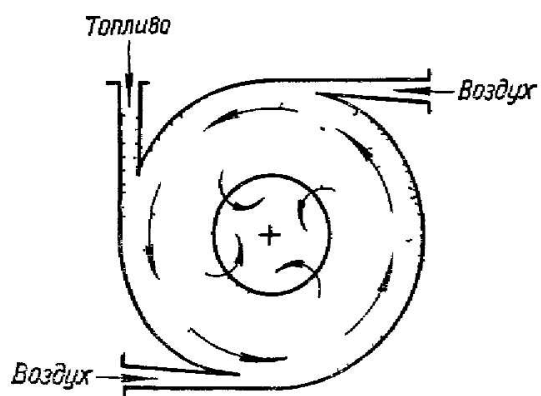


Рисунок - 1.5 Схема вихрового способу спалювання палива

2 Аналіз устаткування котельної установки

2.1 Постановка задачі автоматизації котельного агрегату

До складу котельної установки, окрім основного виробництва, входять декілька цехів: підготовки води, підготовки і транспортування палива, теплопостачання споживача мережевою водою для опалювання і водою для гарячого водопостачання і ін. У кожному з цих цехів знаходяться агрегати і двигуни, багато хто з яких автоматизовані, сполучені між собою певними залежностями або входять в систему АСУ (автоматичну систему управління). Але всі ці допоміжні цехи і установки або направлені на створення безперебійної роботи котлоагрегату і турбін ТЕЦ, або є пристроями, покликаними розподіляти енергію, що виробляється теплосиловою установкою.

Основним енергоємним агрегатом, від якого залежить економічна робота теплової станції, залишається котельний агрегат. Тому особливе значення надається системі регулювання теплового процесу котельного агрегату.

На рисунку 1.1 зображена схема котельного агрегату з основними точками автоматичного регулювання. Паливо, що спалюється в топці 1, виділяє певну кількість тепла, яке сприймається активними поверхнями нагріву котла. Звично це екранні водонагрівальні труби, які, спускаючись з барабана котла, опоясують топковий простір і утворюють замкнутий контур циркуляції води.

Тепло, передаване екранним трубам гарячими газами, примушує воду в трубах скипати, і в останніх утворюється пароводяна суміш. Щільність такої суміші менше щільності води, тому нагріта пароводяна емульсія підіймається вгору по трубах і потрапляє в барабан котла, де пара відділяється від води і займає верхній об'єм барабана. По опускним трубам, що не обігріваються, які внизу котла сполучені з трубами, що обігріваються, на місце емульсії, що пішла в барабан котла, поступає нова вода і знову утворюється емульсія, що піднімається вгору. Таким чином, в котлі створюється постійна циркуляція води.

Пара, що утворилася, збирається в барабані котла 2 і через пароперегрівач 3 поступає в парову турбіну 5. Продукти згорання палива (у вигляді топкових га-

зів) відсисаються димососом 6. На своєму шляху топкові гази омивають трубки пароперегрівача 3 і водяного економайзера 4.

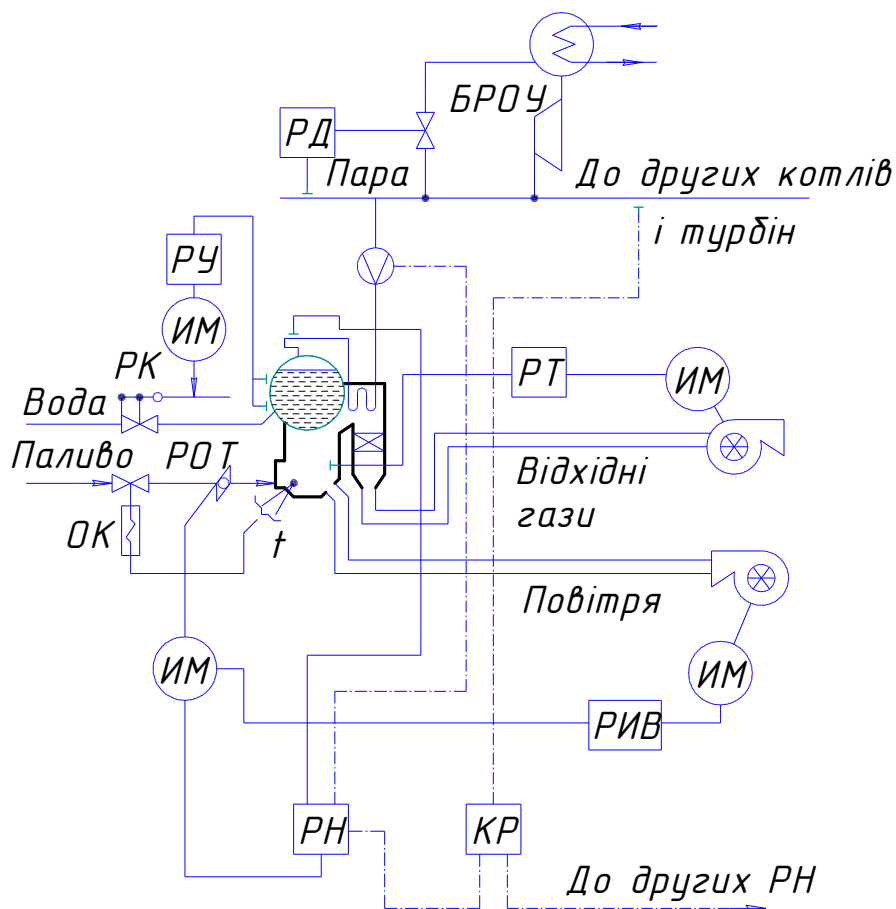


Рисунок - 2.1 Схема котельного агрегату

з основними точками регулювання:

- 1—топка котла, 2 — барабан котла, 3 — пароперегрівач, 4 — економайзер,
5 — турбіна, 6 — димосос, 7 — вентилятор,

ОК — відсічний клапан, POT — регулюючий орган палива, РК — регулюючий клапан живильної води, ИМ — виконавчий механізм, РУ — регулятор рівня, РД — регулятор тиску, БРОУ — редукційно-охолоджувальна установка, Д — діафрагма, РТ — регулятор тяги, РИВ — регулятор надлишку повітря, КР — корегуючий регулятор, РН — регулятор навантаження, t — термopара

Використання тепла газів, що йдуть, підвищує коефіцієнт корисної дії, оскільки тепло використовується для підвищення енергетичних показників пари, а підігріта живильна вода, поступаючи в барабан, не охолоджує воду, що знаходиться там. Підігріта вода після водяного економайзера поступає через живильний клапан РК в барабан, заповнюючи втрати води з відбіраною парою.

Паливо в топку (в даному випадку горючий газ) поступає через відсічний клапан *OK* і регулюючий орган *POT*. Нормальний режим горіння палива забезпечується подачею в топку повітря від вентилятора 7.

Для того, щоб підтримати економічний і стійкий режим котельного агрегату, треба перш за все вибрати параметр, який ліг би в основу регулювання подачі палива в топку. У індивідуальних котельних агрегатах, що працюють кожен на свою турбіну, таким параметром є тиск пари в барабані котла. Дійсно, якщо в топці згорає стільки палива, скільки потрібний для утворення пари, що покриває його витрату, то тиск в барабані котла буде незмінним. Інакше кажучи, підведення тепла до котельного агрегату від палива, що згорає, з урахуванням коефіцієнта корисної дії, повинен відповідати відходу тепла з відбіраною парою.

Якщо кількість тепла, що поступає в топку, перевищує витрату тепла з парою, що йде, то паротворення в котлі протікатиме інтенсивніше і тиск в барабані збільшиться. Якщо кількість тепла, що відбирається з парою, перевищує тепло, що виділяється паливом, тиск в барабані котла падатиме.

Кількість тепла, що подається в топку, може змінюватися унаслідок зміни складу і калорійності палива. Але, якщо вважати, що склад палива, що подається, не міняється, що відповідає дійсності для газового і рідкого палива, то зміна подачі палива в топку повинна бути викликана тільки однією причиною — зміною кількості відбіраної пари. Тому процес регулювання подачі палива називається регулюванням навантаження котла, а регулятор, ведучий цей процес, називається регулятором навантаження *RH*.

Регулятор *RH* одержує сигнал тиску в барабані котла і передає дію на виконавчий механізм *ИМ*, який переміщає регулюючий орган палива *POT*. Регулятор не просто передає дію на регулюючий орган, він обробляє сигнал відповідно до законів регулювання. Річ у тому, що процес утворення пари в котлі має певну інерційність, тобто із зміною подачі палива не відразу змінюється кількість виробленої пари. Причиною цього є те, що сам процес утворення пари відбувається в часі, крім того потрібен час на нагрівання топкових мас котла.

Уявимо собі в розгорненому вигляді перехідний процес після зміни відбору пари або, інакше кажучи, обурення системи регулювання. Для того, щоб віддати команду на відновлення тиску, регулятор повинен врахувати, на яку величину впав тиск, а часто і з якою швидкістю воно падає. Коли подача палива в топку збільшиться, частина збільшеної подачі тепла піде на нагрів топкової кладки, деталей топкового пристрою, металу екранних труб і т.д. Отже, для того, щоб прискорити відновлення тиску в барабані котла, регулятор повинен подати команду, що враховує цю підвищену витрату тепла.

Разом з тим, коли процес встановиться в новому режимі і всі частини котла прогріються, ця додаткова порція тепла, якщо її не зняти, приведе до підвищеного вироблення пари, а отже, до збільшення тиску вище норми.

Все це повинно бути враховано регулятором: після початку перестановки регулюючого органу подача палива збільшиться; тиск почне відновлюватися; у міру наближення тиску до норми регулятор повинен уповільнювати рух регулюючого органу і припинити його перестановку, коли тиск досягне норми.

Проте через вищесказані причини, а також помилки регулятора, інерційності виконавчого механізму і регулюючого органу процес рідко на цьому закінчується. Найчастіше регулюючий орган до моменту відновлення тиску займає положення, відповідне підвищеній, проти потрібного, подачі палива. Тому тиск в котлі буде рости і процес регулювання повторюватиметься із зворотним знаком.

Пройде декілька коливань всієї системи, перш ніж процес встановиться. Такі коливання є небажаними для котельного агрегату, оскільки, крім того що такий режим є дуже неекономічним, він приводить до теплових перевантажень і деформацій всіх частин котла. Правильний вибір регулятора і його точна настройка помітно зменшують перехідний процес і покращують режим роботи котла.

Для забезпечення процесу горіння палива в топку повинна бути подана певна кількість повітря, кисень якого необхідний для повного згорання палива. Надлишок повітря, що подається, викличе підвищене віднесення тепла з топковими газами і приведе до переохолодження топкового простору, а недостатня

подача повітря — до неповного згорання палива. Тому відповідна витраті палива подача повітря є другим завданням, яке повинна забезпечувати система автоматичного регулювання.

У топку завжди подається невеликий надлишок повітря в порівнянні з тим, який потрібен для повного спалювання палива. Цей надлишок визначається коефіцієнтом надлишку повітря, яке встановлюється при теплових випробуваннях котлоагрегата. Завдання автоматичного регулювання полягає в забезпеченні подачі повітря в строгій відповідності з цим коефіцієнтом. Якщо характеристика системи паливо — регулюючий орган лінійна, тобто переміщення регулюючого органу прямо пропорціональне кількості палива, що подається в топку, то сигнал про кількість палива, що подається, можна зняти з перетворювача показчика положення виконавчого механізму регулюючого органу палива. Цей сигнал сприймається регулятором надлишку повітря *РІВ*, яке віддає команду виконавчому механізму *ІМ*, службовцю приводом направляючого апарату вентилятора 7.

Топкові газы повинні бути повністю видалені. Повного видалення продуктів згорання можна досягти забезпеченням певної продуктивності димососа 6. Для того, щоб топкові газы не вибивалися з топки назовні, необхідно підтримувати певне розрідження в топці котла. Разом з тим збільшення цього розрідження приводить до підвищеного підсосу повітря через нещільність в стінках котлоагрегата. У котел потрапляє не підігріте повітря. Підвищуються втрати з газами, що відходять, оскільки зростає швидкість димових газів, нераціонально збільшується витрата електроенергії на привід димососа. Все це веде до зменшення коефіцієнта корисної дії котла.

Імпульс розрідження знімається у верхній частині топкової камери у зв'язку з тим, що в нижніх частинах топки можуть бути різного роду підсоси. Тому, підтримуючи розрідження у верхній частині топки, можна бути упевненим, що в інших частинах топки розрідження може бути тільки більше, але не менше. Імпульс розрідження передається на регулятор *РТ*, який через виконавчий механізм повертає лопатки направляючого апарату димососа.

Регулювання рівня в барабані котла здійснюється регулятором *РУ*. Команда рівня передається на регулюючий клапан *РК*. При зниженні рівня мклапан відкривається. При збільшенні рівня — прикривається.

Такої представляється спрощена картина регулювання рівня. Насправді на рівень в барабані котла впливає цілий ряд чинників. До цих чинників відносяться теплове навантаження топкі, тиск пари в барабані котла, витрата пари з барабана котла і подача живильної води в барабан.

У сталому стані теплового режиму кількість тепла, що сприймається екранними трубами, в часі постійно і кількість пари, що утворилася, в котлі відповідає кількості пари, що відбирається споживачем. При цьому кількість бульбашок пари в екранних трубах постійно і постійна щільність і об'єм пароводяної емульсії.

Будь-яке порушення сталого стану теплового режиму приводить до зміни співвідношення між середнім змістом пари і води в екранних трубах.

При збільшенні теплового навантаження топкі кількість тепла, передавана поверхням нагріву, збільшується, отже, збільшується інтенсивність паротворення. Збільшення кількості бульбашок пари в пароводяній емульсії приводить до збільшення її об'єму, що позначається на рівні в барабані котла— рівень збільшується. Збільшення тиску в барабані котлоагрегата приведе до зменшення вміст пари в пароводяній емульсії, оскільки при підвищеному тиску частина бульбашок пари сконденсується і перетвориться на воду. Тому при підвищенні тиску рівень знижуватиметься.

Розглянемо процес зміни рівня при обуренні теплового процесу у разі збільшення навантаження на котел.

Збільшення споживання пари споживачами при незмінній подачі палива приведе до зменшення тиск в барабані котла, що викличе збільшення об'єму пароводяної емульсії, так зване «набухання». В результаті ефекту «набухання» рівень в барабані котла значно зросте. Величина зміни рівня залежить від теплонапруженості поверхонь нагріву і кількості води, що міститься в котлі.

У котлах з великим водяним об'ємом, екранних поверхонь, що не мають, зміна рівня при зміні навантаження майже не відчувається. У котлах з одним барабаном і сильно розвиненим топковим екраном «набухання» рівня може досягти величини порядку сотень міліметрів.

Збільшення рівня в барабані котла сприймається регулятором як сигнал до зниження подачі живильної води. Зменшення кількості живильної води, що подається в барабан котла, приведе до збільшення температури води, а отже, до ще більшого «набухання». Проте із збільшенням навантаження котла кількість води, що йде у вигляді пари, збільшується, що врешті-решт приведе до стійкого зниження рівня в барабані.

Таким чином, збільшення навантаження спочатку приведе до різкого збільшення рівня в результаті «набухання», а потім до зниження його в результаті підвищеної витрати води.

Для того, щоб регулятор реагував на причини, що викликають зміну рівня, він повинен сприймати сигнали не тільки рівня в барабані котла, але і витрати пари, а часто і витрати живильної води, що подається в котел. Причому сигнал витрати пари подають в регулятор із знаком, зворотним сигналу рівня.

В результаті явища «набухання» рівень в барабані котла змінюється настільки швидко, що регулятор не може вплинути на величину цього відхилення. Навіть повне закриття клапана живильної води у момент збільшення навантаження майже не зменшує відхилення рівня в процесі «набухання». Але якщо дозволити регулятору повністю закрити живильний клапан, то виникає небезпека упуску рівня в подальший період, коли рівень почне стійко знижуватися за рахунок невідповідності подачі води в барабан і витрати пари.

Тому при введенні в регулятор сигналу по витраті пари процес регулювання виглядатиме таким чином: у перший період після збільшення навантаження регулятор, прийнявши сигнал збільшеної витрати пари, видасть команду на живильний клапан і він почне відкриватися; у наступний період почнеться «набухання», цей сигнал примусить регулятор припинити дію на відкриття живильного клапана. Якщо після цього рівень в барабані не встановиться, а змінювати-

меться, то цей сигнал зміни рівня, що не компенсується сигналом витрати, знову приведе до переміщення живильного клапана до відновлення рівня.

Якщо живильний насос подає воду на паралельно працюючі котли, то при відключенні одного з них тиск, що створюється живильним насосом, збільшиться (унаслідок зменшення навантаження насоса). Збільшення тиску приведе до підвищеної кількості води, що подається в котли, що залишилися в роботі, унаслідок чого рівень в них підвищиться. Для попередження подібного явища в регулятор заводять ще один сигнал — по витраті живильної води.

Автоматичний процес регулювання теплового режиму котельного агрегату, що працює на турбіну, ускладнюється ще тим, що турбіна і котел як об'єкт регулювання мають різні швидкості розгону, тобто швидкості відновлення номінального значення параметра. Турбіна може змінювати споживання пари з швидкістю, зіставною з часом закриття регулюючих клапанів. Зміна вироблення пари котлом відбувається значно повільніше. Тому при різкому скиданні або наборі навантаження тиск пари в паропроводі перед турбіною може значно мінятися.

Для захисту від різкого підвищення тиску в паропроводі служить швидкомикаюча редуційно-охолоджувальна установка *БРОУ*. При скиданні навантаження, коли тиск пари швидко росте і регулятор навантаження не встигає привести агрегат в нормальний режим, тиск може піднятися вище певної межі, тоді регулятор тиску *РД* (див. рисунок 2.1) відкриває клапан *БРОУ* і скидає надлишок пари в конденсатор турбіни.

Звично тиск, на який настроєний регулятор *РД*, декілька вище за настройку регулятора навантаження, і до тих пір, поки регулятор навантаження *РН* не приведе тиск в барабані в норму, регулятор *РД* за допомогою *БРОУ* підтримуватиме тиск декілька вище нормального.

На тракті газового палива обов'язково встановлюється відсічний клапан *ОК*. Його завданням є забезпечити відсічення газу у разі згасання факела в топці котла, інакше газ може виходити в приміщення котельної. Як перетворювач згасання полум'я використовується фотоелемент або термоелектричний термометр. Струм, проходячи по обмоткам соленоїда клапана *ОК*., утримує його у відкри-

тому стані. При згасанні полум'я вихідний сигнал термоелектричного термометра зменшується і клапан *OK* закривається. При розжигі котла клапан *OK* відкривається уручну.

На рисунку 2.1 штрихпунктиром казані зв'язки автоматики, коли котел працює не в індивідуальному режимі, а в груповому — декілька котлів працюють на один паропровід. В цьому випадку не можна вести регулювання тільки індивідуальними регуляторами *РН*, оскільки при падінні тиску в магістралі воно впаде і на барабані кожного котла. Регулятор навантаження кожного агрегату прагнучиме відновити тиск. Але оскільки агрегати мають різну інерційність, то ті з них, які менш інерційні (у яких швидкість розгону більше), швидше наберуть необхідну потужність і швидше відновлять тиск. Але відновлення тиску на барабані — це те ж, що відновлення тиску на магістральному паропроводі. Тому регулятори котлів з більшою інерційністю перестануть набирати навантаження. Таким чином, котли виявляються завантаженими нерівномірно.

Тому на електростанціях із загальними паропроводами (поперечними зв'язками між котлами і турбінами) застосовуються схеми каскадного регулювання тиску пари з головним корегуючим регулятором.

Імпульс тиску відбирається в характерній точці загального паропроводу і посиляється на той, що коректує регулятор *КР*. Що коректує регулятор, у свою чергу, міняє завдання основним регуляторам. Сигнал до основного регулятора котла в цьому випадку приходить від якого-небудь іншого параметра, наприклад від витрати пари котлом. Регулятор *РН* подає команду на витрату палива залежно від кількості відбираної пари з котла, але при коливаннях тиску в магістралі головний регулятор *КР* змінює завдання основному регулятору: у більш інерційних котлів завдання збільшується, а у менш інерційних — зменшується.

Ціллю даного проекту є розробка автоматичної системи управлінням подачі повітря в топку котельного агрегату шляхом заміни вентиляторів з асинхронним приводом на вентилятори з приводом постійного струму з управлінням від комплектного електропривода типу «КЕМТОК», та розробка автоматичної системи управлінням приводом механічного шаберу який встановлюється на виході

камери згорання. Встановлення шаберу дозволить забезпечити регулювання тяги в камері згорання і як слідство підвищити якість згорання палива та знизити віднесення тепла з топковими газами при надмірній тяги повітря.

Загальна система управління подачі повітря в камеру згорання складається з двох задач.

Перша задача забезпечення необхідної кількості повітря при низких показниках тяги в котельному агрегаті. Ця задача вирішується шляхом встановлення двох автоматизованих нагнітачів на вході та виході котельного агрегату. Нагнітачі вмикаються в роботу тільки тоді коли тяга повітря в камері згорання є нижче необхідної цей процес контролюється керуючої ЕОМ. Після стабілізації тяги до необхідного параметру система примусової подачі повітря припиняє свою роботу, чи при необхідності підтримує.

Друга задача виникає в разі перевищення показників тяги, вони можуть виникти в разі сильного вітра чи перепаді атмосферного тиску. Ця задача вирішується шляхом встановлення на виході камери згорання автоматизованого електромеханічного шаберу. Який вмикається в роботу коли показники тяги перевищують необхідні. Автоматизований шабер зменшує надміру тягу шляхом часткового перекриття каналу відпрацьованих газів тим самим забезпечує регулювання тяги в камері згорання і як слідство підвищити якість згорання палива та знизити віднесення тепла з топковими газами при надмірній тяги повітря. Керування здійснюється з допомогою керуючої ЕОМ.

Таким чином загальна система керування подачі повітря складається з двох систем керування які працюють в протифазному режимі, тобто коли працює одна система інша знаходиться в режимі очікування і навпаки. При переході з режиму зниження тяги до режиму її підвищення система керування автоматизованим шабером спочатку використовує свій діапазон регулювання, шляхом максимального відкриття каналу. Як що показники тяги при цьому не задовольняють то керування процесом передається системі керування нагнітачами.

Так як одночасно працює тільки одна система то з'являється можливість використання одного здвоєного автоматизованого електропривода який буде

працювати і на два електродвигуна системи нагнітачів і на систему автоматизованого шаберу. Для забезпечення такої роботи привода його необхідно забезпечити електронним комутатором який би здійснював перемикання двигуна автоматизованого шаберу і двигуна нагнітача.

Програмне забезпечення так саме як і система керування повинна складатись з загальної програми керування і двох підпрограм, підпрограми керування автоматизованим шабером і підпрограми керування нагнітачами.

Структурна схема загальної автоматизованої системи керування подачі повітря зображена на рисунку 2.2

2.2 Загальні відомості про компресорні установки

Машини, пристрої для проведення енергії, стиснення і переміщення рідин і газів, називаються насосами. Насоси, у яких робочим тілом є повітря або інші гази, підрозділяються на компресори, повітродувки, газодувки, нагнітачі, димососи і вентилятори.

Одній з основних характеристик машин, пристроїв для отримання і переміщення стислих газів, є ступінь підвищення тиску газу, тобто відношення кінцевого тиску газу на виході з машини до початкового тиску на вході в неї. У компресорах, що звично працюють з штучним охолодженням газу, ступінь підвищення тиску газу $\varepsilon > 3,5$.

За принципом дії і пристроєм компресори і повітродувки підрозділяються на такі основні типи: поршневі із зворотно-поступальним рухом поршнів, ротаційні пластинчасті, відцентрові лопатки, осьові лопатки, гвинтові, мембранні і струменеві. Вентилятори за цими ж ознаками підрозділяються на відцентрові і осьові.

Компресори і вентилятори є невід'ємною частиною устаткування найрізноманітніших промислових, транспортних і побутових підприємств. Вони використовуються для постачання повітрям пневматичного інструменту і молотів на машинобудівних і металургійних заводах, в гірничорудній промисловості, для наддуву поршневих двигунів внутрішнього згорання, для стиснення повітря в газотурбінних двигунах, для гальмівних систем тепловозів, електровозів і авто-

мобілів, для пневматичних систем управління і регулювання, в холодильних установках і т.д.

2.3 Пристрій і робота відцентрових і осьових вентиляторів

Відцентровий вентилятор (рисунок 2.3) складається з робочого колеса, розміщеного в улиткообразном кожусі 1, який зміцнюється в міцній станині. Основною частиною вентилятора, що сприймає потужність двигуна і передавальній її газу, є робоче колесо. В більшості випадків робоче колесо складається з маточини 2, на якій укріплений основний диск 3 з привареними або приклепаними до нього лопатками 4. З протилежного боку лопатки скріплюють кільцеподібним покриваючим диском 5. Така конструкція робочого колеса називається закритою (на відміну від напівзакритої, коли що покриває диск відсутній). Вентилятори, призначені для транспортування зважених частинок, наприклад пирососи, виконуються з робочими колесами повністю відкритої конструкції. В цьому випадку довгі лопатки укріплені своїми нижніми кінцями безпосередньо на маточині, утворюючи відкриту крильчатку.

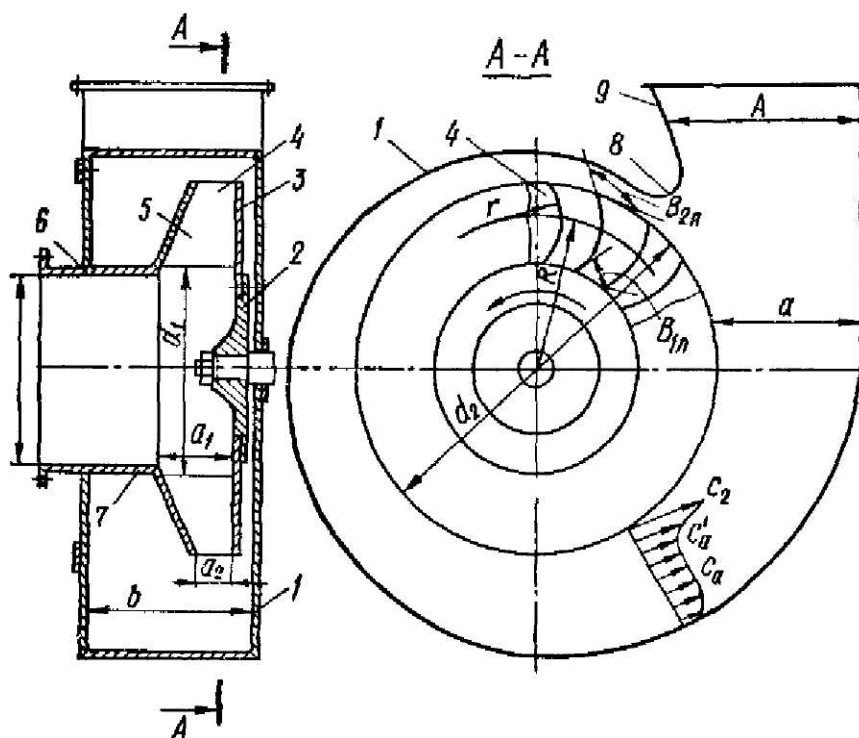


Рисунок - 2.3 Схема відцентрового вентилятора

У відцентровому вентиляторі потік газу входить в порожнину робочого колеса через вхідний патрубок — колектор 6. Зазор 7 між колесом і вхідним пат-

рубком повинен бути можливо меншим, оскільки навіть невеликі перетікання газу істотно впливають на продуктивність і тиск вентилятора. Потік газу, що виходить з порожнини робочого колеса, збирається в кожусі 1 і просувається в ньому до вихідного дифузора 9. Кожух, звично улиткообразной форми, забезпечує зниження швидкості потоку і відповідне перетворення динамічного тиску в статичне.

Профіль спірального кожуха в більшості випадків відповідає архімедовій спіралі. У місці почала розвороту спіралі утворюється так званий язик 8. Оптимальна довжина і контур язика для різних вентиляторів різні. Існують вентилятори, які добре працюють і без язиків, у них розворот спіралі починається безпосередньо від гирла вихідного дифузора. Правильний напрям обертання робочого колеса вентилятора відповідає напрямку розвороту спірального кожуха. При зворотному обертанні колеса продуктивність вентилятора сильно знижується, але реверсування, тобто зміни напрямку подачі, не відбувається.

Для кращої організації потоку газу в кожусі і зменшення втрат застосовують прості вихідні що направляють пристрої у вигляді дископодібних щитів над гирлом робочого колеса і складніші апарати лопаток. Лопатки укріплюють між щитами, а початкові ділянки їх встановлюють так, щоб вони співпадали з напрямом векторів абсолютної швидкості газу на виході з міжлопаткових каналів. У осьовому вентиляторі, як і в осьовому компресорі, потік газу просувається в основному уздовж осі обертання робочого колеса (звідси назва — осьові). У таких вентиляторах процеси руху і стиснення газу в проточній частині організовані аеродинамічніше краще, ніж у відцентрових. Тому в зіставних умовах частоти обертання, розмірів і продуктивності їх до. п. д. вище, ніж у відцентрових.

У простому випадку осьовий вентилятор складається з двох частин — осьового колеса лопатки і циліндрового кожуха. У складніших схемах є ряд додаткових частин і деталей, поліпшуючих роботу вентилятора і його аеродинамічні якості.

Робоче колесо (рисунк 2.4) складається з втулки 4 і закріплених на ній робочих лопаток 5. Для забезпечення плавного входу газу на лопатки колеса в пе-

редній частині вентилятора передбачається обтічник 1. Якщо робоче колесо насаджується безпосередньо на вал 1 електродвигуна 8, то для кращої організації потоку і зменшення втрат останній закривається заднім обтічником 9. Циліндровий кожух осьового вентилятора (обичайка 6) часто забезпечується дифузorzом 10, що забезпечує зниження швидкості потоку при виході і відповідне перетворення динамічного тиску в статичне.

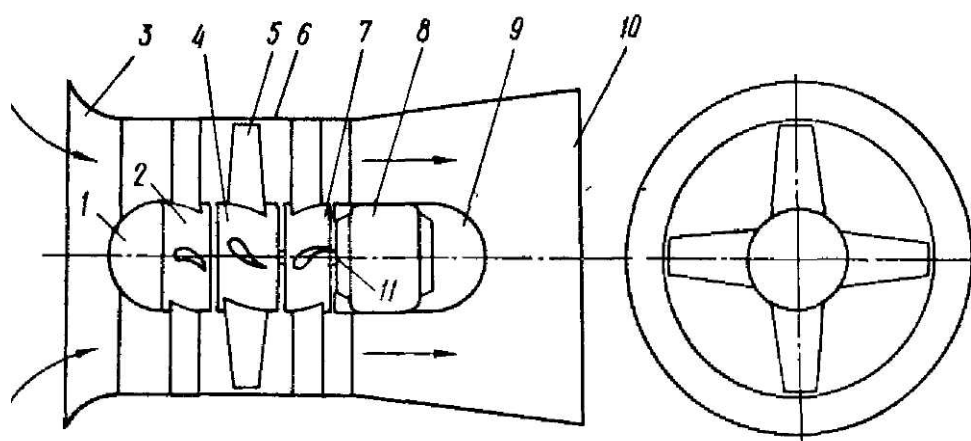


Рисунок - 2.4 Робоче колесо осьового вентилятора

У сучасних осьових вентиляторах нерідко ставлять на вході направляючий апарат лопатки 2 і на виході, безпосередньо за робочим колесом, - що випрямляє апарат 7. Направляючий апарат перед робочим колесом служить для закручування потоку в напрямі, протилежному обертанню. Це приводить до вирівнювання потоку на виході, наближаючи його рух до осьового. Випрямляючий апарат служить для безпосереднього додання потоку газу за робочим колесом осьового напрямку і зниження втрат енергії. Состоїть він з плоских або профільованих лопаток, створюючих подовжні канали.

У вентиляторах, які повинні піддаватися регулюванню, лопатки направляючого і випрямляючого апаратів можуть виконуватися пересувними з метою регулювання роботи вентилятора шляхом змін характеру руху потоку газу.

На вході в осьовий вентилятор встановлюється колектор 3, сприяючий поліпшенню умов входу потоку на робоче колесо. Циліндрова обичайка 6 повинна бути добре зцентрована з робочим колесом і з можливо меншим зазором між кінцями лопаток і внутрішньою її поверхнею. Це необхідно для зниження перетікання газу з напірного боку на всмоктуючий, що дуже важливе для якісної робо-

ти вентилятора. Правильний напрям обертання осьового вентилятора повинен відповідати переміщенню робочих лопаток тупою кромкою або угнутістю вперед. При обертанні робочого колеса у напрямі гострих кромок лопаток робота вентилятора істотно погіршується, а напрям потоку газу змінюється на протилежний. Не дивлячись на те, що при будь-якому профілю лопаток забезпечується реверсивність осьових вентиляторів, реверсивними прийнято називати тільки ті вентилятори, у яких робочі лопатки мають симетричний профіль, отже, можуть працювати однаково в обох напрямках.

2.4 Характеристики вентиляторів

Характеристиками вентиляторів називаються графічні залежності повного тиску p , що розвивається вентилятором, споживаній потужності Ne і к. к. д. від продуктивності Q . Для вентиляторів характерні також залежності статичного тиску p_{cm} і статичного к. к. д. від продуктивності Q .

У теорії компресорних машин розрізняють теоретичні і дійсні характеристики. При побудові теоретичних характеристик використовують результати математичного аналізу основних рівнянь машин. Ці характеристики описують якісну сторону залежностей між параметрами машин, вони можуть бути побудовані з урахуванням і без урахування гідравлічних втрат.

Дійсні характеристики встановлюють кількісний зв'язок між параметрами машини і будуються за наслідками стендових випробувань натурального зразка або моделі. Як правило, при складанні характеристик вентиляторів приймаються стандартні умови: $p_{cm} = 1,014 \cdot 10^5 \text{ па}$, $T_{cm} = 295^\circ \text{ До}$, відносна вологість $\phi_{ст} = 50\%$.

Дійсні характеристики бувають індивідуальні, універсальні і безрозмірні.

Індивідуальні характеристики встановлюють взаємозалежності робочих параметрів даної машини. Універсальні характеристики є суміщеними залежностями між різними параметрами вентиляторів в різних режимах роботи. Безрозмірні характеристики встановлюють залежності між безрозмірними параметрами — коефіцієнтами певної серії подібних машин.

Найбільш характерній і важливий зі всіх залежностей є залежність повного тиску, що розвивається вентиляторами, від продуктивності $p = f(Q)$.

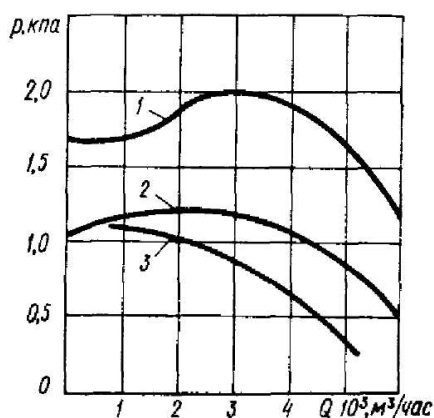


Рисунок - 2.6 Логарифмічні характеристики вентилятора Ц4-70№6

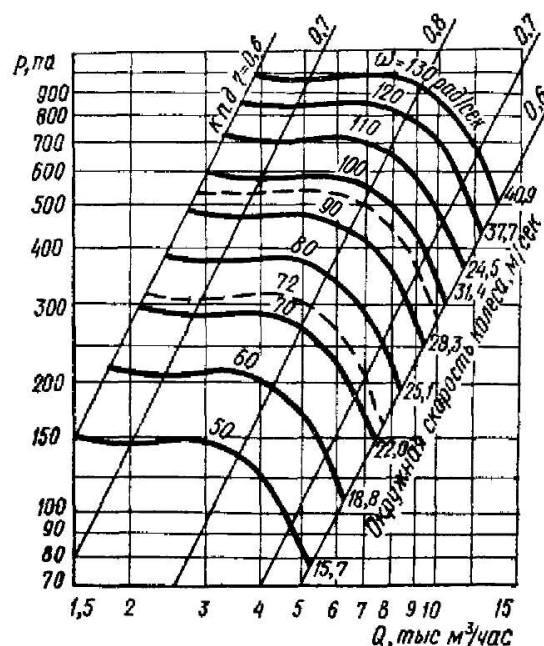


Рисунок - 2.7 Характеристики $p=f(Q)$ вентиляторів трьох типів

На рисунку 2.6 зображені характеристики $p = f(Q)$ трьох різних вентиляторів. Тут крива 1 приведена для вентилятора ЦАГИ типу СТД №8, $\omega = 2,8 \text{ c}^{-1}$; крива 2 — для вентилятора ЦАГИ типу Ц-6-46 № 4, $\omega = 4,8 \text{ c}^{-1}$; крива 3 — для вентилятора типу ВРН № 4, $\omega = 5,3 \text{ c}^{-1}$. Як видно, всі криві в правій частині мають однаковий спадаючий характер, в лівій частині їх характер різний, особливо кривій 1, що має характерну сідлоподібну форму. Така форма характеристики властива деяким вентиляторам, що мають порівняно малі кути β_2 і малі відношення зовнішнього діаметру робочого колеса до внутрішнього D_2/D_1 . На рисунку 2.7 представлена характеристика вентилятора Ц4-70 № 6 в логарифмічних координатах, за даними ЦАГИ. Кутів швидкості вказані над відповідними кривими $p = f(Q)$, а в кінці кривих, справа відмічені відповідні окружні швидкості. Однакові значення к. к. д. при різних режимах роботи вентилятора відмічені лініями похилих.

Така методика побудови характеристики к. к. д. є наочною при виборі режиму роботи вентилятора у області оптимальних значень к. к. д. Ці значення відповідно до вимог ДСТУ повинні бути не нижче $0.9 \eta_{\max}$. На характеристиці легко виділити відрізок кривої, при $\eta = \text{const}$ або цілу область при $\eta = \text{var}$, в яких розташовуватимуться оптимальні значення к. к. д.

При побудові безрозмірних характеристик (рисунк 2.8) користуються методом ЦАГІ із застосуванням наступних безрозмірних параметрів:

коефіцієнта продуктивності

$$\bar{Q} = \frac{4Q}{\pi D_2^2 u_2} ;$$

коефіцієнта тиску

$$\bar{p} = \frac{p}{\rho u_2^2} ;$$

коефіцієнта потужності

$$\bar{N} = \frac{4N}{\pi D_2^2 \rho u_2^2} .$$

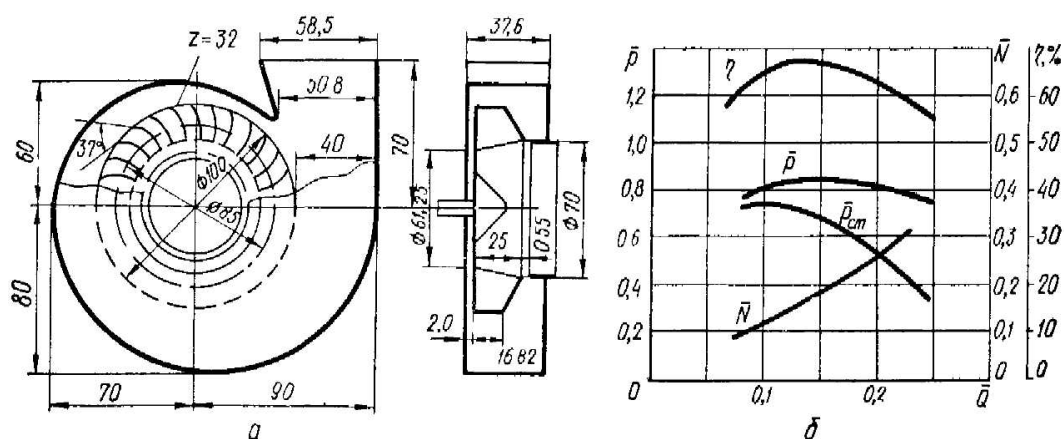


Рисунок - 2.8 Аеродинамічна схема (а) і безрозмірна характеристика (б) вентиляторів.

Якщо відомі значення D_2 і, то з безрозмірних характеристик можуть бути одержані індивідуальні характеристики шляхом рішення рівнянь відповідно відносно Q , p і N .

Як згадувалося вище, безрозмірні характеристики описують властивості серії подібних вентиляторів. Подібними вентиляторами є такі, у яких дотримуються умови геометричної подібності і подібності гідравлічних режимів роботи. Геометрична подібність вентиляторів визначається однаковими аеродинамічними схемами, у яких забезпечена рівність подібних кутів і постійність відносин подібних геометричних розмірів. Умовою гідравлічної подібності режимів роботи вентиляторів є рівність відносин швидкості перебігу газу в довільно вибраній точці колеса або равлики до окружної швидкості на зовнішньому діаметрі робочого колеса. Ця умова може бути також виражена подібністю трикутників швидкостей і рівністю гідравлічних к. к. д.

Для подібних вентиляторів

$$\frac{p_M}{\rho u_{2M}^2} = \frac{p_H}{\rho u_{2H}^2}, \quad \text{Звідси} \quad \frac{p_M}{p_H} = \frac{u_{2M}^2}{u_{2H}^2} = \frac{\omega_M^2}{\omega_H^2}, \quad (2.10)$$

Виходячи з умови нерозривності струменя $Q = F c_{2r}$, де F — площа перетину на виході з колеса, c_{2r} — нормальна складова швидкості c_2 , з умови подібності планів швидкостей знаходимо

$$\frac{Q_M}{Q_H} = \frac{c_{2rM}}{c_{2rH}} = \frac{u_{2M}}{u_{2H}}$$

і далі

$$\frac{Q_M}{Q_H} = \frac{u_{2M}}{u_{2H}} = \frac{\omega_M}{\omega_H}. \quad (2.11)$$

З рівняння потужності (2.9)

$$\frac{N_M}{N_H} = \frac{Q_M}{Q_H} \cdot \frac{p_M}{p_H} = \frac{\omega_M^3}{\omega_H^3}.$$

З рівнянь (2.10) — (2.11), які носять назву формул пропорційності, слідує висновок, що продуктивність вентилятора прямо пропорційна кутовій швидкості; тиск, що розвивається вентилятором, прямо пропорціонально квадрату кутової швидкості і споживана потужність пропорційна кубу кутової швидкості.

Кожній аеродинамічній схемі вентилятора відповідає певний коефіцієнт швидкохідності, розрахований для умов максимального к. к. д. Маючи в своєму

розпорядженні початкові дані, можна обчислити коефіцієнт швидкості і потім по каталогу підібрати відповідну аеродинамічну схему і її безрозмірні характеристики. По безрозмірним характеристикам можуть бути одержані індивідуальні характеристики шляхом перерахунку, методика якого розглянута вище. Для прикладу на рисунку 2.7 представлена аеродинамічна схема вентиляторів 07-37. По цій схемі виготовляються дутьєві вентилятори і димососи, призначені для використання в крупних промислових котельних і на теплових електростанціях. Конструктивно димососи відрізняються від вентиляторів тільки посиленнями деталями робочого колеса, наявністю броньового листа після створюючої кожуха і водяного охолодження масляної ванни, що зв'язане із застосуванням їх для відсмоктування димових газів з температурою до 473°C .

2.5 Схема механічного шаберу.

Шабер встановлюється на виході з камери згорання. Він складається з двох пластин зі щілинами. Одна з них є нерухомою а друга рухається паралельно нерухомій. Конструкція пластин може змінюватись відповідно до профілю відвідної системи. Таким чином пластини можуть бути чи круглої чи прямокутної форми. Рухома пластина рухається з допомогою передачі гвинт – гайка, яка через муфту з'єднана з двигуном постійного струму. Таким чином привод має бути реверсивним для того щоб забезпечити необхідне регулювання положення пластини. При переміщені в крайні точки положення прохід повітря, в одному положенні, буде повністю вільним а в іншому повністю зачиненим. Загальний вигляд шаберу зображений на рисунку 2.9

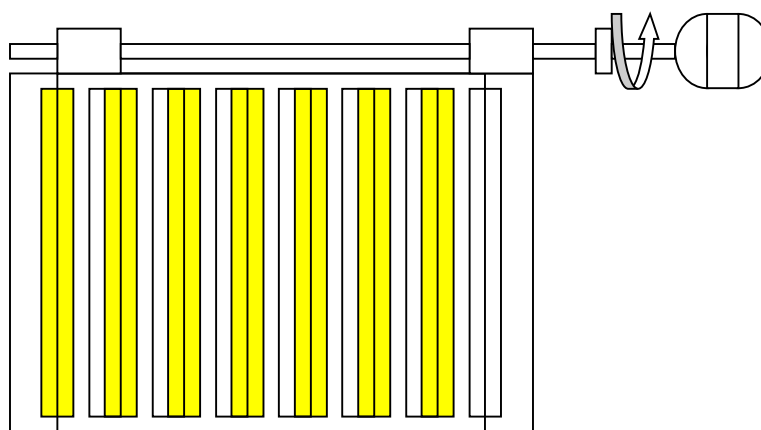


Рисунок - 2.9 Загальний вигляд шаберу.

3 Опис комплектного електропривода «Кемток»

3.1 Загальні відомості

Електроприводи типу «Кемток» призначені для автоматизації технологічного обладнання з керуванням від ЕОМ чи ЧПК. У комплект привода входять:

- двохкоординатний тиристорний перетворювач типу 4EB23;
- два високомоментні електродвигуни постійного струму типу MBH;
- силовий трансформатор, спільний для обох координат;
- зрівняльні дроселі;
- блок динамічного гальмування.

Основні технічні характеристики привода повністю відповідають вимогам «Интерелектро» до приводів подач.

Перетворювач являє собою двохкоординатний модуль, виконаний по блоковій конструкції, що забезпечує вільний доступ до більшості елементів схеми.

Обидва перетворювачі виконані за двоконтурною схемою підлеглого регулювання з пропорційно-інтегральними регуляторами швидкості і струму.

Управління перетворювачами — погоджене нелінійне на низьких частотах обертання і роздільне на високій частоті обертання. Передбачено нелінійне струмообмеження відповідно до комутаційних кривих двигунів і адаптивне регулювання коефіцієнта передачі регулятора швидкості. СІФУ побудовано по вертикальному принципі з лінійною опорною напругою і можливістю регулювання початкового струму якоря.

Блок електронних захистів, загальний для обох координат, забезпечує зручну і безаварійну експлуатацію привода.

Блок-схема привода приведена на рисунку 3.1, де РС - регулятор швидкості; РТ - регулятор струму; АР - адаптивний регулятор; КЗ - коригувальна ланка; МТГ - схема виділення модуля напруги тахогенератора; ФП - функціональний перетворювач, ПЭ - граничний елемент, БНТО - блок нелінійного токообмеження, Р-регулятор зрівняльного (початкового) струму; СІФУ - система імпульсно-фазового управління; ТП - тиристорний перетворювач; ТР — силовий трансформатор; Я — двигун, ТГ — тахогенератор; Sh — шунт; L — зрівняльні дроселі,

OL — захист від тривалого перевантаження по струму; TG — захист від обриву ланцюга тахогенератора; CP — захист від неправильного підключення; RD — готовність; ON — сигнал «Робота» (Деблокировка привода); БП — блок харчування. Приступимо до докладного опису принципової схеми привода.

3.2 Силова схема

Силова схема (рисунок 3.2) виконана по реверсивної трєхпульсної противопараллельної схемі випрямлення зі зрівняльними дроселями.

Силовий трансформатор здійснює узгодження напруги електродвигуна з напругою живильної мережі і є загальним для обох силових схем випрямлення. З'єднання обмоток за схемою “Трикутник — зигзаг” виключає потік змушеного намагнічування і, як наслідок, дає економію в сталі.

Передбачено захисні RC- ланцюжки від комутаційних перенапруг.

Шунти В1 і В2 використовуються як датчики струму якоря в системі підлеглого регулювання.

Силові контактори КМ1 і КМ2 включення привода одночасно здійснюють динамічне гальмування при аварійному відключенні перетворювача.

3.3 Регулятор швидкості

Регулятор швидкості РС являє собою класичний Пі-регулятор і виконаний на операційному підсилювачі D51 (рисунок 3.3).

Регулятор має два входи:

1) X2/1, X2/2, X2/3 — для підключення сигналу, що задає, $t_{зад}$.

У випадку запаювання перемичок М10 і МП забезпечується безпосереднє підключення $U_{зад}$ до регулятора швидкості.

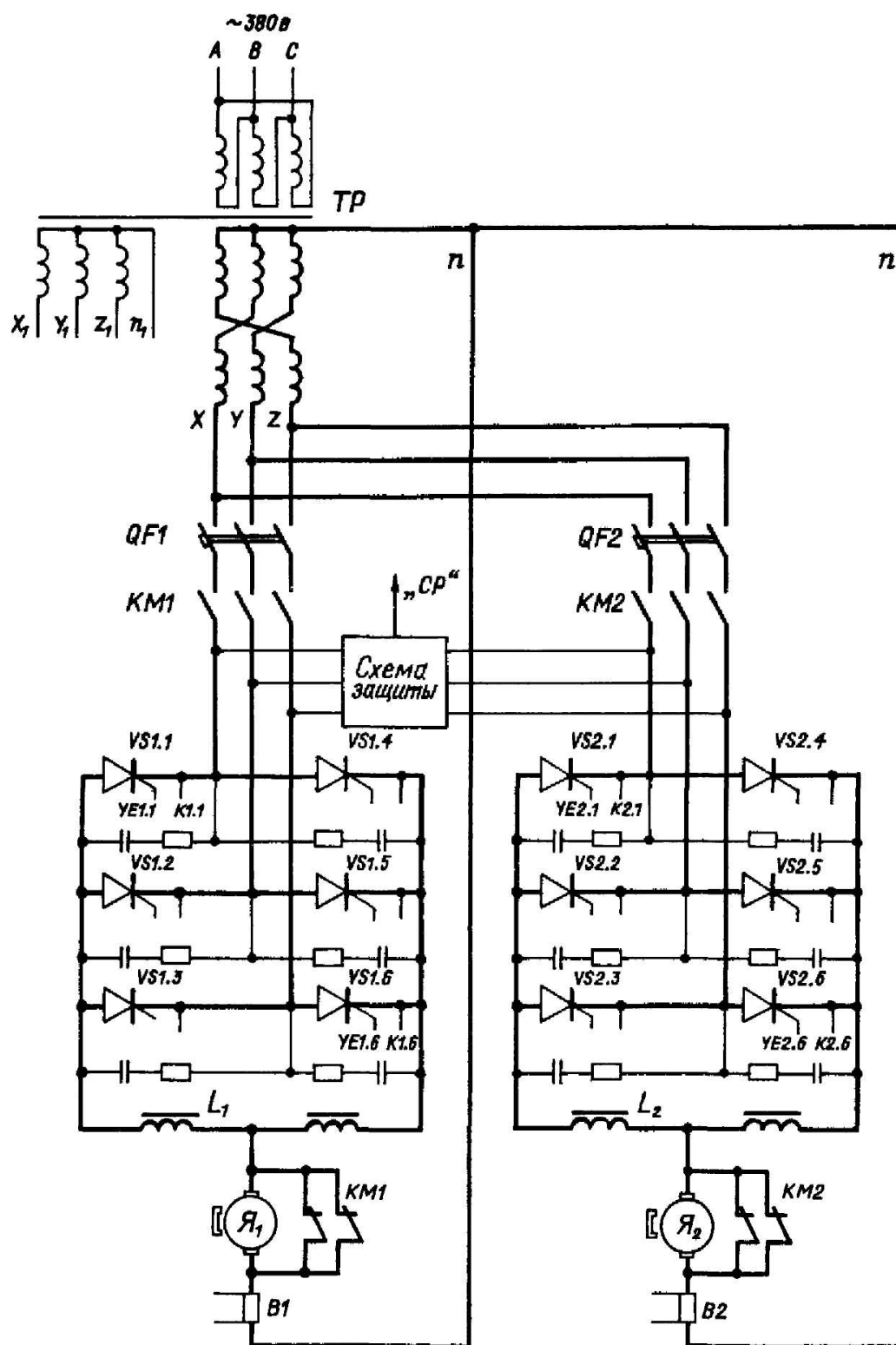


Рисунок - 3.2 Силовая схема

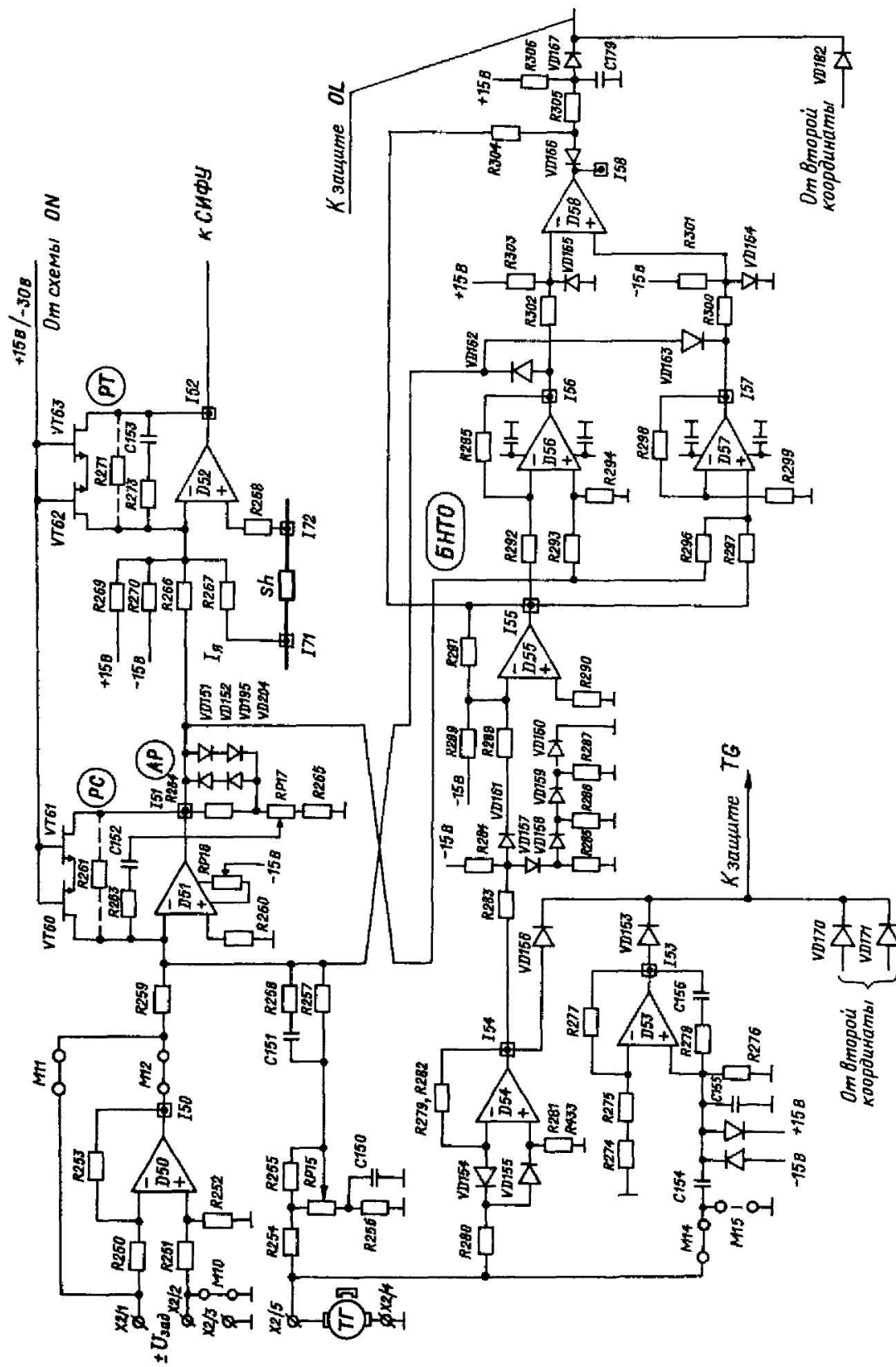


Рисунок - 3.3 Принципова схема регулятора швидкості, регуляторів струму та нелінійного струмообмеження

При відключених M10 і M1 і запаяній перемичці M12 здійснюється диференціальне включення $U_{\text{зад}}$ через ОП D50.

Природно, можливо й асиметричне включення напруги, що задає, з використанням проміжного ОП D50.

2) X2/5, X2/4 — для підключення тахогенератора, тобто сигналу зворотного зв'язку по частоті обертання.

Передатна функція регулятора визначається наступною формулою:

$$W(p) = -\frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = -K_{\text{рег}} \frac{1+pT_{0c}}{pT_n},$$

де $K_{\text{рег}} = \frac{R264 + RP17 + R265}{RP17^* + R265}$ — регульоване потенціометром RP17 доданок коефіцієнта передачі підсилювача (RP17*-опір частини потенціометра RP17 від движка до нижнього за схемою виводу); $T_{0c} = R263 \cdot C152$ — постійна часу ланцюга зворотного зв'язку; $T_n = R257 \cdot C152$ — постійна часу ланцюга інтегрування.

Виконавши перетворення передатної функції, можна виділити нерегульовану частину коефіцієнта пропорційного посилення:

$$W(p) = -K_0 K_{\text{рег}} \frac{1+pT_{0c}}{pT_{0c}},$$

де $K = R263/R257$ — постійна частина коефіцієнта передачі, що не залежить від положення движка потенціометра RP17.

Настроювання перехідного процесу по частоті обертання виробляється шляхом зміни коефіцієнта передачі регулятора. Зміна величини постійних часу T_{0c} і T_n робити не рекомендується, тому що вони підібрані на заводі-виготовлювачі виходячи з фактичної електромеханічної постійної часу електродвигуна і приведенного навантаження T_z й оптимальності перехідного процесу.

Резистор R261 є налагоджувальним. Його запаювання робить РС пропорційним, що досить зручно при первісному пуску привода.

Балансування підсилювача здійснюється потенціометром RP16 у ланцюзі живлення негативної полярності.

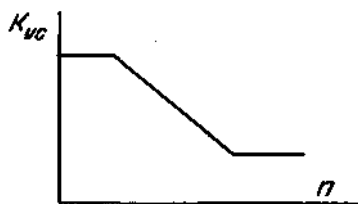


Рисунок - 3.4 Залежність $K_{yc}=i(n)$

Ключем на польових транзисторах VT60 і VT61, керованим від схеми захисту, виконується блокування регулятора.

У ланцюзі зворотного зв'язку по частоті обертання передбачений коригувальний ланцюжок на елементах R258, 3151, що здійснює диференціювання сигналів тахогенератора.

Регулювання максимальної частоти обертання електродвигуна здійснюється зміною глибини зворотного зв'язку потенціометром RP15. При недостатності глибини регулювання варто змінити величину резистора R254.

Відмінною рисою регулятора швидкості електропривода «Кемок» є наявність адаптивного регулювання коефіцієнта передачі у функції частоти обертання (рисунок 3.1). Адаптація здійснюється за рахунок нелінійності характеристик діодів VD151, VD195, VD152 і VD204, включених паралельно резисторові R264 у ланцюзі регулювання коефіцієнта передачі РС.

На малій частоті обертання вихідна напруга РС мало, діоди замкнені і не впливають на коефіцієнт пропорційного посилення регулятора, величина якого в середнім положенні потенціометра RP17 складає

$$K = K_0 K_{\text{per}} = \frac{R_{263}}{R_{257}} \cdot \frac{R_{264} + RP_{17} + R_{265}}{RP_{17} + R_{265}}$$

При великій частоті обертання, у залежності від полярності вихідної напруги РС, цілком відкривається одна з пар діодів VD151, VD195 або VD152, VD204, і шунтує резистор R264. Приймаючи опір пари діодів у прямому напрямку рівним 3 кому, одержимо

$$K \simeq 4,53 \cdot \frac{3+10+2,7}{5+2,7} = 4,53 \cdot 2 \approx 9.$$

На середніх частотах обертання відбувається плавна зміна величини опору діодних пар і, отже, коефіцієнта передачі.

Введення адаптації дозволяє компенсувати нелінійність вихідної характеристики тиристорного перетворювача, забезпечуючи високу якість перехідних процесів у всій зоні регулювання частоти обертання.

3.4 Регулятор струму

Регулятор струму РТ виконаний у виді пропорційно-інтегрального регулятора на ОП D52 (рисунок 3.3).

Вхідним сигналом РТ, тобто завданням на струм, є вихідна напруга регулятора швидкості. Сигнал зворотного зв'язку по струму двигуна знімається із шунта, включеного в ланцюзі якоря двигуна, і подається на РТ через резистор R267.

У схемі регулятора струму не передбачено ніяких регулювань, тому що в силу комплектності привода його налаштування на конкретний електродвигун виробляється на заводі-виготовлювачі.

Постійна часу ланцюга зворотного зв'язку РТ $T_{oc} = R273 \cdot C153$ компенсує електромагнітну постійну часу якорного ланцюга.

Запаюванням налагоджувального резистора R271 регулятор можна зробити пропорційним.

Ключ на польових транзисторах VT62 і VT63 призначений для блокування регулятора.

При необхідності підключенням резисторів R269 або R270 можна задати початкове значення струму якоря при зупиненому двигуні, тобто створити початковий момент, наприклад, що утримує вертикальні координати від падіння.

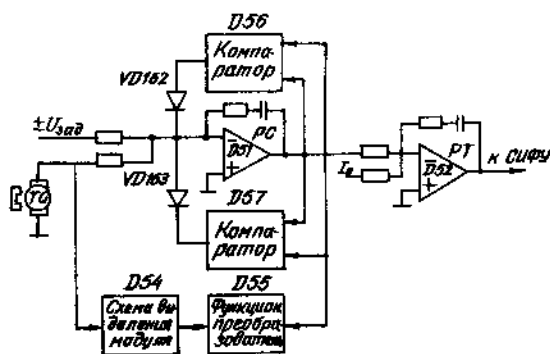
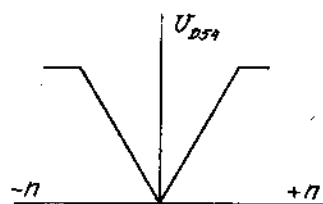


Рисунок - 3.5 Блок-схема БНТО

Рисунок - 3.6 $U_{\text{мтг}} = f(n)$

Вихідна напруга РТ є керуюча для системи імпульсно-фазового керування.

3.5 Блок нелінійного струмообмеження БНТО

Призначений для обмеження гранично припустимого струму якоря у функції частоти обертання і відповідно до комутаційної кривої двигуна.

Принцип роботи БНТО пояснюється блок-схемою рис. 3.5.

Регулятор швидкості РС охоплений двома ланцюгами зворотного зв'язку, виконаними на ОУ D56 і D57, на входи яких подаються напруга виходу t/p_c і напруга функціонального перетворювача $U_{\text{фп}}$, виконаного на ОП D55.

Вихідна напруга функціонального перетворювача є функцією частоти обертання двигуна, причому форма кривій $U_{\text{фп}} = f(n)$ копіює комутаційну криву електродвигуна.

Якщо $U_{\text{pc}} < U_{\text{фп}}$, то вихід ланцюгів зворотного зв'язку має полярність, що замикає діоди VD162 і VD163, і струмообмеження не працює.

При $U_{\text{pc}} > U_{\text{фп}}$ відкривається один з діодів — VD162 або VD163 — у залежності від напрямку обертання, шунтую вхід регулятора швидкості. Унаслідок цього зменшується напруга на виході РС, тобто завдання для регулятора струму РТ, і відбувається обмеження величини струму до припустимого на даній частоті обертання значення.

Принципова схема БНТО приведена на рисунку 3.2.

Операційний підсилювач D54 призначений для виділення модуля напруги тахогенератора $U_{\text{тг}}$, напруга на його виході завжди позитивно і пропорційно частоті обертання (рисунок 3.5).

Коефіцієнт передачі схеми виділення модуля однаковий для обох полярностей напруги тахогенератора і складає 0,25.

Для позитивної полярності (діод VD154 закритий, діод VD155 відкритий):

$$K_{+} = \frac{R_{281}}{R_{280} + R_{281}}$$

Для негативної полярності (діод VD154 відкритий, діод VD155 закритий):

$$K_{-} = \frac{R_{282}}{R_{280}};$$

Напруга модуля 1 (ЛГ1 подається на вхід схеми функціонального перетворювача. При нульовій частоті обертання під дією негативної напруги зсуву, подаваного через резистор R284, діоди VD161 і VD157 замкнені і напруга на вхід функціонального перетворювача не надходить.

Величина $U_{\Phi\P}$ визначається зсувом, подаваним на вхід, що інвертує, через резистор R289, і дорівнює:

$$U_{\Phi\P} = - \left(-U_{\text{см}} \frac{R_{291}}{R_{289}} \right)$$

У крапці А (мал. 1.4.5) при невеликій частоті обертання відкривається діод VD161 і напруга на виході починає визначатися наступним рівнянням:

$$U_{\Phi\P} = - \left(U_{\text{см}} \frac{R_{291}}{R_{289}} + U_{\text{вх.}\Phi\P} \frac{R_{291}}{R_{288}} \right)$$

де $U_{\text{вх.}\Phi\P}$ — вхідна напруга функціонального перетворювача в крапці загальних анодів вентилів VD161 і VD157.

Оскільки опір резистора $R_{288} = 30$ кому, тобто значно менше, ніж опір R289, та вихідна напруга з ростом $U_{\text{вх.}\Phi\P}$ різко падає.

Величина $U_{\text{вх.}\Phi\P}$ не є пропорційної напрузі модуля тахогенератора $U_{\text{тг}}$, а визначається коефіцієнтом передачі адаптивного діляника напруги, утвореного резистором R283 і ланцюжком VD157, R285, VD158, R286, VD159, R287 і VD160. В міру росту частоти обертання послідовно відкриваються діоди VD157...VD160, зменшуючи величину напруги $U_{\text{вх.}\Phi\P}$.

Темп зменшення вихідної напруги ФП сповільнюється, що формує комутаційну криву $U_{\Phi\P} = f(n)$, показану на рисунку 3.6.

В ідеальному випадку це крива постійної потужності, реально — на високій частоті обертання потрібно трохи зменшити навантаження, а на низькою її можна збільшити.

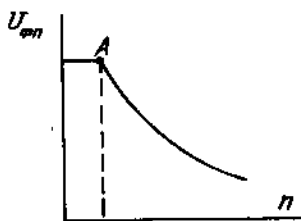


Рисунок 3.7 Залежність
 $U_{\Phi\P} = f(n)$

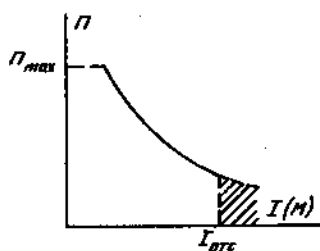


Рисунок 3.8 Залежність $I_{\text{доп}} = F(n)$

на практиці максимальний струм досягається в гіршому випадку на 3-м пульсі і при цьому двигун досягає такої частоти обертання, що вже потрібно обмежувати струм. Максимальна величина струму відсічення звичайно $I_{\text{отс}} = (4...6) I_{\text{ном}}$.

Здатність двигуна витримувати великі перевантаження — до $(10...12) I_{\text{ном}}$ — говорить лише про загальну якість двигунів, їхньої захищеності від розмагнічування і не може бути реалізована на практиці.

Робота компараторів D56 і D57 описується наступними рівняннями і пояснень не вимагає:

$$U_{D56} = \frac{R_{294}}{R_{292}} \cdot \frac{R_{292} + R_{295}}{R_{293} + R_{294}} U_{PC} - \frac{R_{295}}{R_{292}} U_{\Phi\P};$$

$$U_{D57} = \frac{R_{297}}{R_{299}} \cdot \frac{R_{299} + R_{298}}{R_{297} + R_{296}} U_{PC} + \frac{R_{296}}{R_{299}} \cdot \frac{R_{299} + R_{298}}{R_{297} + R_{296}} U_{\Phi\P};$$

або, підставляючи чисельні значення,

$$U_{D56} = U_{PC} - U_{\Phi\P} \text{ и } U_{D57} = U_{PC} + U_{\Phi\P},$$

т. к. всі опори резисторів R292...R299 рівні 10 кОм.

При роботі струмообмеження компаратор D58 переходить у стан позитивного насичення. Якщо час роботи БНТО перевищить величину уставки таймера на конденсаторі C179, то виробляється сигнал захисту перетворювача від перевантаження.

Резистор R304 утворить додатковий ланцюг заряду конденсатора C179, чим досягається визначена адаптація роботи захисту. В міру зниження частоти

обертання, наприклад, при роботі на упор заряд конденсатора здійснюється швидше.

Канал регуляторів другого перетворювача працює аналогічно.

3.6 Система імпульсно-фазового управління (СІФУ)

Призначена для формування і синхронізації подачі управляючих імпульсів на силові тиристори.

СІФУ виконане за вертикальним принципом і складається з трьох однакових каналів для кожної з фаз живлення (рисунок 3.9) Характерної особливістю структури побудови СІФУ є наявність каналу, загального для обох перетворювачів генератора пилкоподібної напруги.

Діаграма роботи СІФУ приведена на рисунку 3.10.

Напруга синхронізації U_x (U_y , U_z) подається на входи каналів СІФУ з ділянок силовій напруги, утворених резисторами R20 і R5, R25 і R6, R30 і R7 відповідно (рисунок 3.15). Це напруга ланцюжками RP1, C31 затримується приблизно на 32 електричних градуса (1,8 мсек) і поступає на інвертуючий вхід компаратора D3 і неінвертуючий вхід компаратора D4 (рисунок 3.11).

Примітка. Тут і далі розглядається тільки один канал першого перетворювача СІФУ.

За рахунок подачі на протилежні входи компараторів різнополярних напруг зсуву, регульованих потенціометром RP7, взаємоінверсні вихідні напруги D3 і D4 перекривають одна одну. Схема «И», виконана на діодах VD27 і VD28, формує короткий негативний імпульс, який запускає чекаючий генератор пилкоподібної напруги, виконаний на ОП D5 і транзисторі VT1. Амплітуда пилкоподібної напруги регулюється потенціометром RP2.

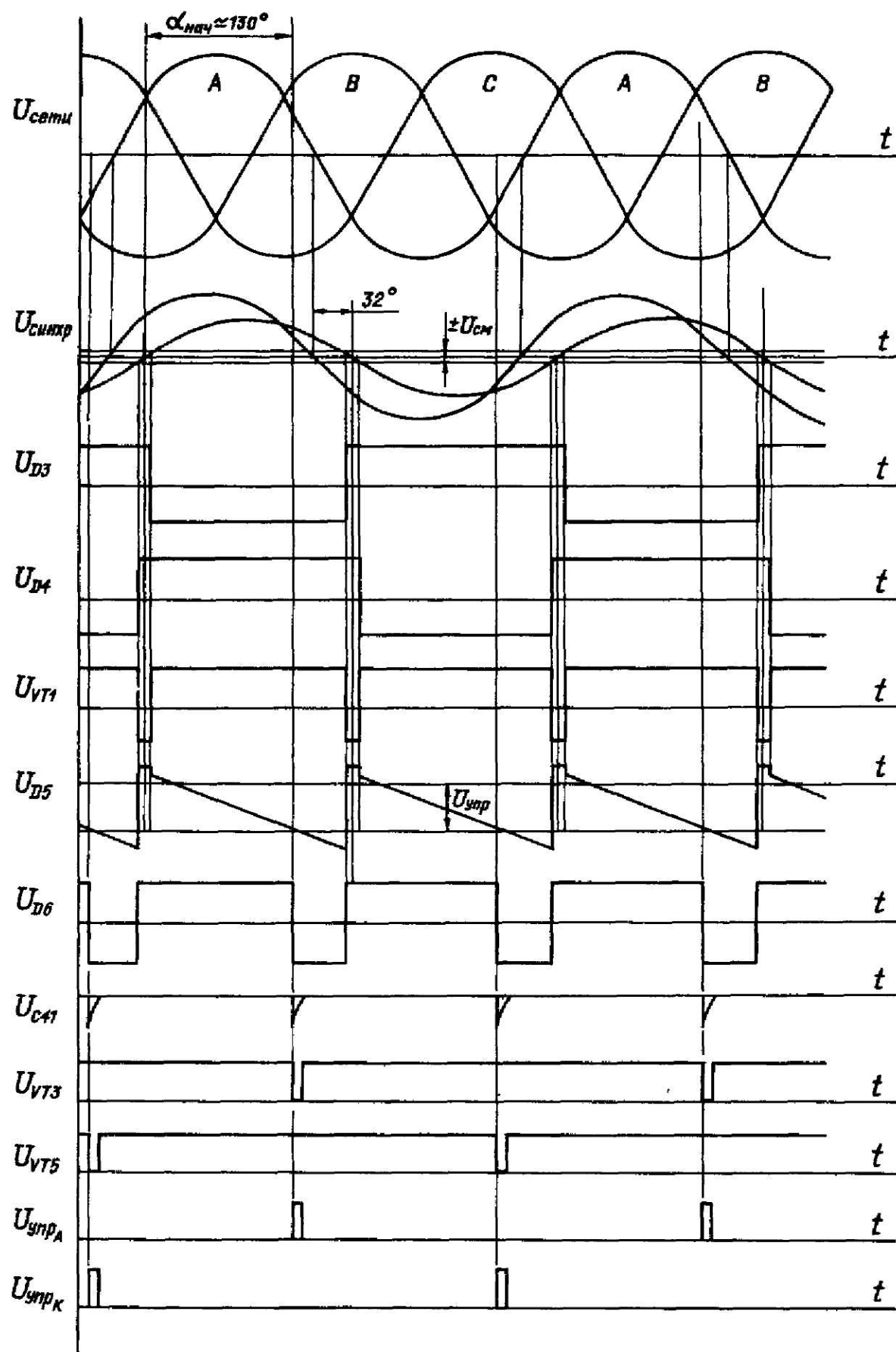


Рисунок - 3.10 Діаграма роботи СІФУ

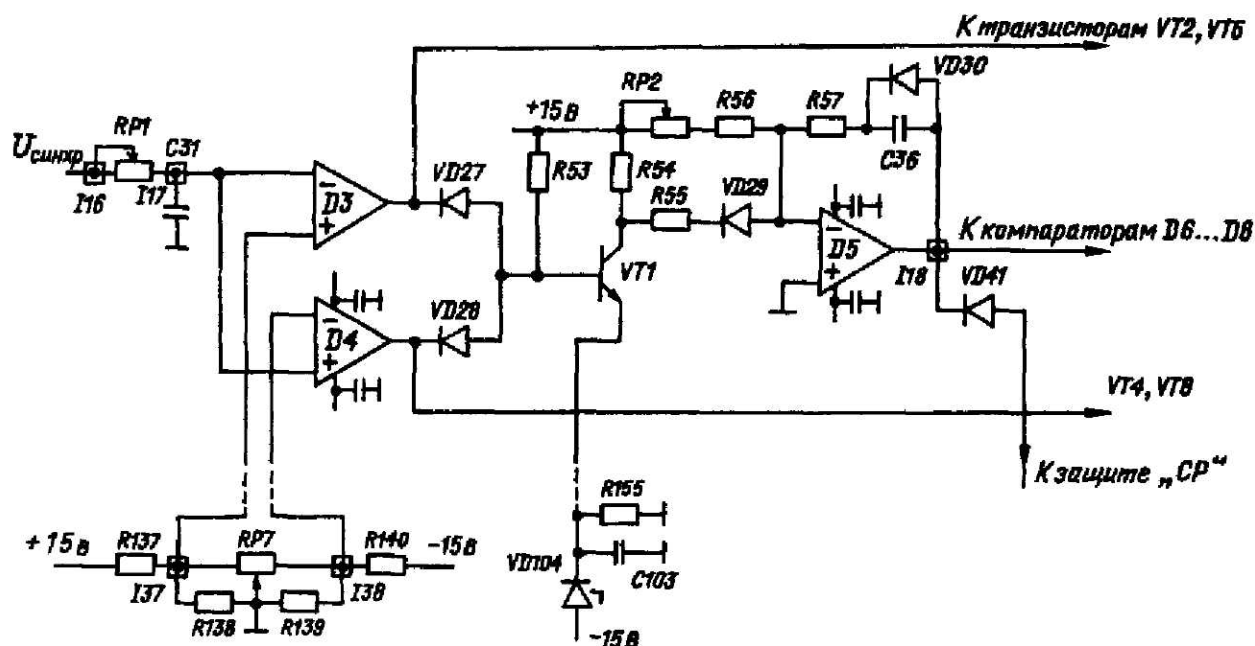


Рисунок - 3.11 Схема компараторів і генератора пилоподібної напруги

Резистор R57 і діод VD30 формують позитивний імпульс пилкоподібної напруги.

На компараторах D6 і D7 здійснюється порівняння величини пілкоподібної напруги з різнополярною управляючою напругою, що поступає з ОП D25 (анодна група) і D24 (катодна група). У момент рівності цієї напруги компаратори D6 і D7 переходять з позитивного стану насичення в негативне. Цей перепад диференціюється конденсаторами C41 і C44, негативний імпульс на виході яких відкриває транзистор VT2 або VT4 (той, у якого на другому діодному вході VD32 або VD36 негативна напруга з виходу компаратора D3 або D4).

Транзистори VT2 і VT4 відкривають силові підсилювачі VT3 або VT5 відповідно, навантаженням яких є імпульсні трансформатори управління тиристорами (рисунк 3.12). Передбачено блокування імпульсів СІФУ від схеми захисту через транзистор VT28.

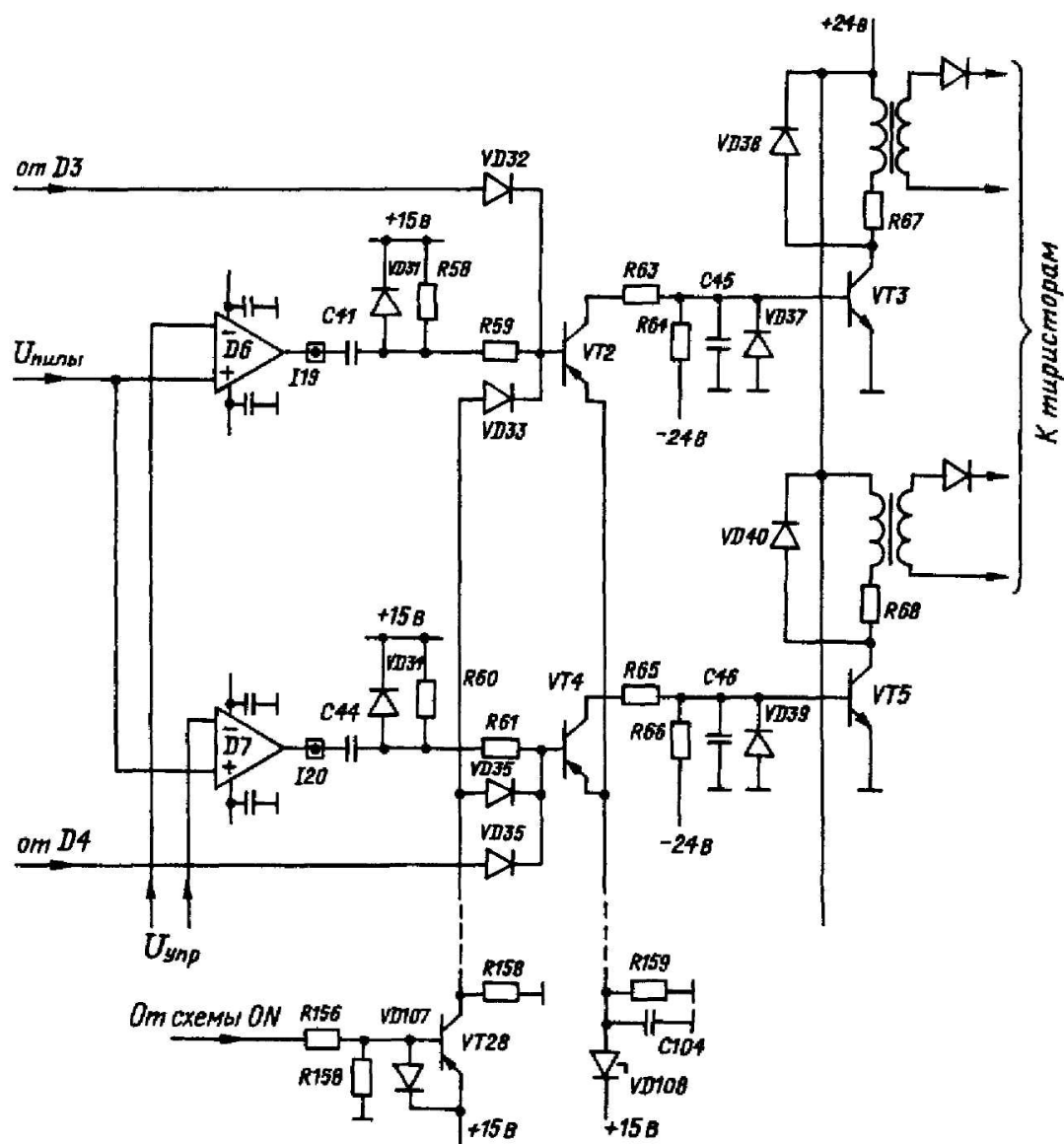


Рисунок - 3.12 Схема вихідних каскадів СІФУ

Розділення каналів управління тиристорами анодної і катодної груп здійснюється ОП D25 і D24 (рисунок 3.13), вхідним сигналом яких є вихідна напруга регулятора струму РТ. На входах ОП D25 і D24 відбувається підсумовування напруги зсуву позитивної полярності, регульованого потенціометром RP8, і напруги $U_{РТ}$, причому за рахунок включення діодних ланцюгів VD103, R151 і VD102, R146 забезпечується різний темп зсуву імпульсів, що управляють, в групах тиристорів.

При позитивній напрузі, що управляє $U_{РТ}$ вихідна напруга ОП D25 і D24, а також компараторів D6 і D7 визначаються таким чином:

$$\begin{aligned}
 U_{D25} &= -U_{PT} - U_{CM}; \quad U_{D24} = +0,5U_{PT} - U_{CM} \\
 U_{D6} &= K_o(-U_{ГПН} + U_{PT} + U_{CM}); \\
 U_{D7} &= K_o(-U_{ГПН} - 0,5U_{PT} + U_{CM}).
 \end{aligned}$$

Аналогічно при негативній напрузі, що управляє, — U_{PT} :

$$\begin{aligned}
 U_{D25} &= +0,5U_{PT} - U_{CM}; \quad U_{D24} = -U_{PT} - U_{CM}; \\
 U_{D6} &= K_o(-U_{ГПН} - 0,5U_{PT} + U_{CM}); \\
 U_{D7} &= K_o(-U_{ГПН} + U_{PT} + U_{CM}).
 \end{aligned}$$

З виразів видно, що зсув імпульсів інверторної групи, що управляють, управо відбувається швидше, ніж забезпечується зменшення зрівняльних струмів і перехід від узгодженого управління до роздільного за рахунок «зриву» генерації імпульсів, що управляють, при $|U_{PT} + U_{CM}| > |U_{ГПН}|$.

Регулюючи величину зсуву на входах ОП D25 і D24, можна встановити бажану величину початкового струму якоря. Стандартне регулювання передбачає $\alpha_{нач} = 130^\circ$.

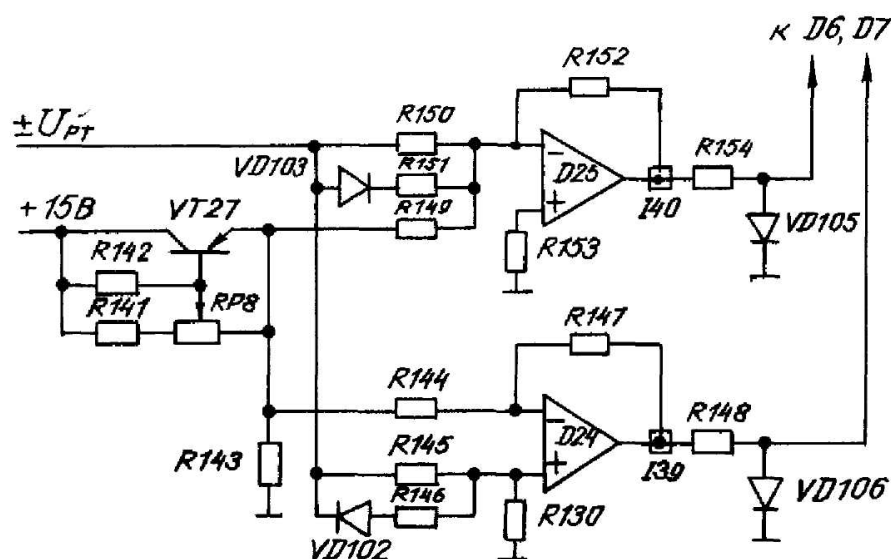


Рисунок - 3.13. Схеми керування каналами СІФУ

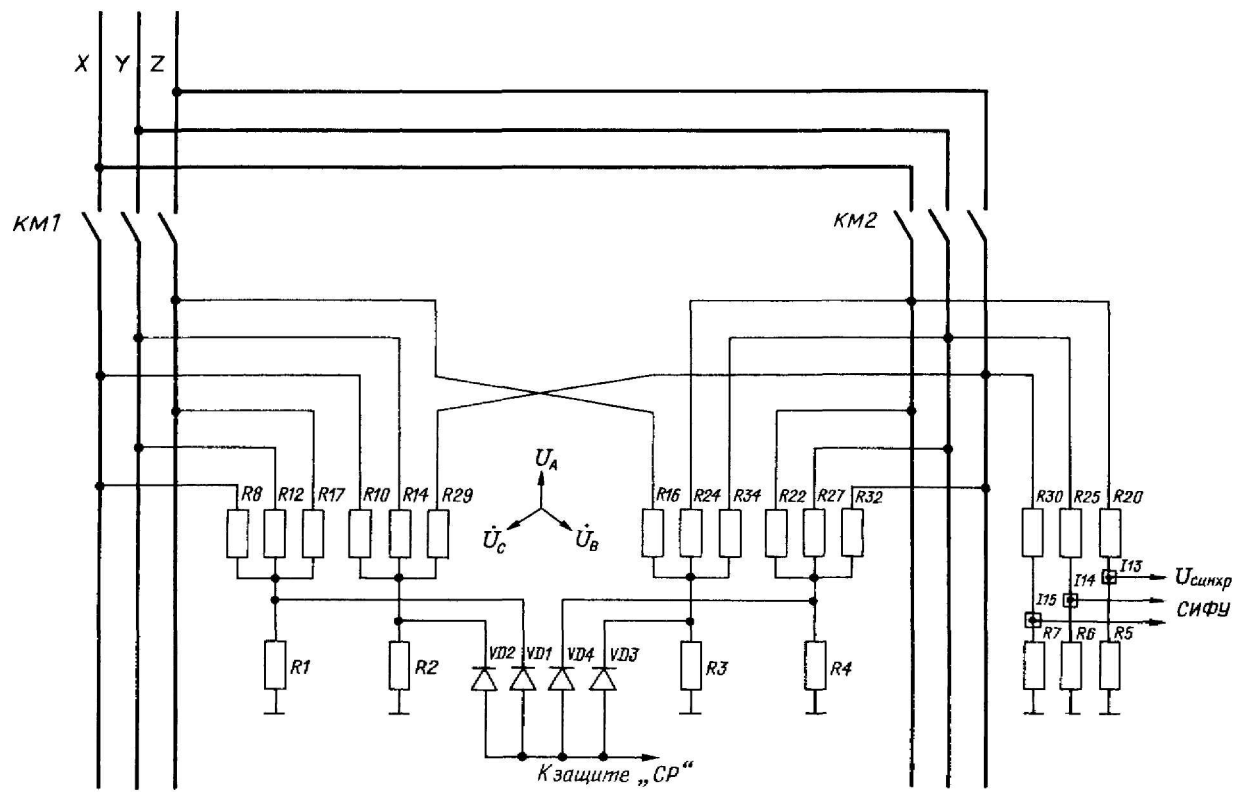


Рисунок - 3.14 Схема виділення управляючого сигналу захисту СР

4 Розрахунок і аналіз автоматичної системи управління приводів вентиляторів

4.1 Вибір двигуна і комплектного електроприводу

Первинним етапом розрахунку приводу є вибір виконавчого двигуна. Від правильного вибору двигуна залежать забезпечення всіх технологічних режимів обробки і необхідних динамічних характеристик, а також конструкція механічної частини приводу.

У вентиляторі ЦАГИ типу Ц4-70 двигун має наступні параметри:

$$M_e = 4 \text{ Н*м};$$

$$n = 2000 \text{ хв}^{-1};$$

Замість даного двигуна встановлюємо високомоментний двигун, який вибираємо за умовами:

$$M_{\text{дв.ном}} > M_e = 4,6 \text{ Н*м} - \text{номінальний момент двигуна};$$

$$n_{\text{max}} = 2000 \text{ об/хв} - \text{максимальна частота обертання двигуна};$$

Вибираємо двигун ПБСТ-23МО з наступними параметрами:

Номінальний момент	$M_H = 4,9 \text{ Н*м};$
--------------------	--------------------------

Максимальна частота обертання	$n_{\text{max}} = 2500 \text{ об/хв};$
-------------------------------	--

Номінальна частота обертання	$n_H = 1000 \text{ об/хв};$
------------------------------	-----------------------------

Номінальна напруга	$U_H = 110 \text{ В};$
--------------------	------------------------

Номінальна потужність	$P_H = 0,5 \text{ кВт};$
-----------------------	--------------------------

Максимальна потужність	$P_{\text{max}} = 0,7 \text{ кВт};$
------------------------	-------------------------------------

Опір якоря при 15° С	$R_{\text{я}} = 1,5 \text{ Ом};$
----------------------	----------------------------------

Індуктивність якоря	$L_{\text{я}} = 12 \text{ мГн};$
---------------------	----------------------------------

Момент інерції якоря	$J_{\text{я}} = 0,012 \text{ кг*м}^2;$
----------------------	--

ККД двигуна	$\eta_{\text{дв}} = 71 \text{ } \%;$
-------------	--------------------------------------

Постійна ЕДС	$C_{\text{дв}} = 0,043 \text{ В/(про мін)}$
--------------	---

$$\text{Максимальна робоча частота обертання: } n_{p.\text{max}} = 1300 \text{ об/хв};$$

$$\text{Мінімальна робоча частота обертання: } n_{p.\text{min}} = 450 \text{ об/хв};$$

Сумарний момент інерції приводу:

$$J_{\text{пр}} = J_{\text{сум}} + J_{\text{я}} = 0.5 + 0.012 = 0.512 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Вибір комплектного електроприводу:

Вибір комплектного електроприводу для приводу нагнітачів та автоматизованого шаберу проводиться по :

- 1) $R_{\text{нп}}$ - номінальній потужності використовуваного двигуна;
- 2) $U_{\text{нп}}$ – номінальній напрузі електроприводу

$$U_{\text{нп}} \geq U_{\text{мах}}_{\text{эд}},$$

де $U_{\text{мах}}_{\text{эд}}$ – максимальна напруга на двигуні, необхідне для забезпечення $n_{\text{тах}}$ при швидкому переміщенні робочого органу. Для двигунів з незалежним збудженням $U_{\text{мах}}$ визначується із співвідношення :

$$U_{\text{мах.эд}} / n_{\text{мах}} = U_{\text{н}} / n_{\text{н}}$$

Звідси витікає, що

$$U_{\text{мах.эд}} = \frac{n_{\text{мах}}}{n_{\text{н}}} \cdot U_{\text{н}}; \quad U_{\text{мах}}_{\text{эд}} = 117 \text{ В.}$$

Приймаємо $U_{\text{нп}} = U_{\text{мах}}_{\text{эд}} = 117 \text{ В.}$

Номінальний струм електроприводу вибирається по номінальному струму двигуна з урахуванням перевантаження:

$$I_{\text{нп}} \geq 2 \cdot I_{\text{н}} \quad I_{\text{нп}} := 2 \cdot I_{\text{н}} \quad I_{\text{нп}} = 48 \text{ А}$$

Вибираємо комплектний електропривод «КЕМТОК».

4.2 Розрахунок параметрів і вибір трансформатора і тиристорного перетворювача

До розрахункових параметрів тиристорного перетворювача відносяться :

$R_{\text{эп}}$ – еквівалентні внутрішні опір ТП;

$L_{\text{эп}}$ – еквівалентна індуктивність ТП;

$E_{\text{оп}}$ – ЕДС ТП при повністю відкритих тиристорах ($\alpha=0$).

Приймаємо $E_{1\phi} = 220 \text{ В}$, отже $E_{2\phi}$ знаходимо по $E_{\text{оп}} = 1,1 U_{\text{нп}} = 129 \text{ В}$.

Для комплектного електроприводу «КЕМТОК» приймається трифазна нульова схема, для якої:

$$E_{2\phi} = \frac{E_{оп}}{1.17}; \quad E_{2\phi} = 110 \text{ В};$$

Визначимо коефіцієнт трансформації по формулі:

$$q = \frac{E_{2\phi}}{E_{1\phi}}; \quad q = 0,5;$$

Потужність трансформатора для даної схеми визначається із співвідношення:

$$S_T = 1,46 P_{нп} = 1,46 \cdot U_{нп} \cdot I_{2н} = 8,2 \text{ кВт.}$$

Визначимо номінальні струми первинної і вторинної обмотки:

$$I_{1н} = \frac{S_T}{3 \cdot E_{1\phi}}; \quad I_{1н} = 37,4 \text{ А};$$

$$I_{2н} = \frac{S_T}{3 \cdot E_{2\phi}}; \quad I_{2н} = 74,54 \text{ А};$$

По струму вторинної обмотки і потужності вибираємо трансформатор ТСП-25/0.7-УХЛ4, дані трансформатора приведені нижче:

Напруга вентильної обмотки	$U_B = 205 \text{ В}$
Струм вентильної обмотки	$I_B = 82 \text{ А}$
Напруга перетворювача	$U_{пп} = 230 \text{ В}$
Струм перетворювача	$I_{пп} = 100 \text{ А}$
Потужність холостого ходу	$P_{хх} = 2100 \text{ Вт}$
Потужність короткого замикання	$P_{кз} = 1100 \text{ Вт}$
Напруга короткого замикання	$U_{кз} = 5,5\%$
Потужність трансформатора	$S_T = 29,1 \text{ кВт}$
Напруга вторинних обмоток	$U_{с0} = 380 \text{ В}$
Струм холостого ходу	$I_{хх} = 8\%$

Визначимо активний опір фаз трансформатора:

$$R_{\phi} = \frac{R}{2 \cdot q^2}; \quad R_{\phi} = 0,131 \text{ Ом};$$

Визначимо
$$U = \frac{U_{кз}(\%) \cdot E_{1\phi}}{100} = 12,1 \text{ В};$$

Отже
$$Z = U / I_{1н} = 0,324 \text{ Ом};$$

Звідси $X = \sqrt{Z^2 - R^2} = 0,269 \text{ Ом};$

Визначимо індуктивний опір фази трансформатора:

$$X_{\text{АФ}} = \frac{X}{2 \cdot q^2}; \quad X_{\text{АФ}} = 0,589 \text{ Ом}.$$

Знайдемо індуктивний опір живлячої ВП мережі, яке для трифазної нульової схеми рівне $X_{\text{А}} = X_{\text{АФ}} = 0,589 \text{ Ом}.$

Тепер можна визначити еквівалентний внутрішній опір тиристорного перетворювача:

$$R_{\text{ЭП}} = [m_{\text{уз.см}} / 2\pi] X_{\text{А}} + R_{\text{Ф}}; \quad R_{\text{ЭП}} = 0,694 \text{ Ом}.$$

Визначимо номінальний струм тиристорного перетворювача відповідно до даної схеми:

$$I_{\text{нп}} = \frac{I_{2\text{H}}}{0.58}; \quad I_{\text{нп}} = 128,5 \text{ А}.$$

Еквівалентна індуктивність тиристорного перетворювача :

$$L_{\text{ЭП}} = X_{\text{А}} / (2\pi f_c); \quad L_{\text{ЭП}} = 1,8 \text{ мГн};$$

де f_c – частота що живить мережі ($f_c = 50 \text{ Гц}$).

4.3 Обмеження зрівняльних струмів

Зрівняльні реактори застосовуються для обмеження зрівняльних струмів при сумісному управлінні вентильними групами. У комплектному ЕП застосовано сумісне управління. При узгодженому сумісному управлінні індуктивність струмообмежувальних реакторів визначається по формулі:

$$L_{\text{ур}} = K_{\text{д}} \cdot \left(\frac{E_{\text{ФМ}}}{\omega_c \cdot I_{\text{ур}}} \right) - L_{\text{ЭП}},$$

де $\omega_c = 2\pi f_c = 314 \text{ с}^{-1}$; $E_{\text{ФМ}} = \sqrt{2} E_{2\text{Ф}}$ - амплітуда фазній ЭДС.

$$E_{\text{ФМ}} = 156 \text{ В};$$

Діюче значення зрівняльного струму: $I_{\text{ур}} = 0,2 I_{\text{н}} = 4,8 \text{ А}.$

Величину $L_{\text{ур}}$ визначимо для максимального значення $K_{\text{д}}$ при відомому діапазоні зміни α . Оскільки перетворювач, що розраховується, використовується

для широкорегулюємого ЕП, із зміною α від 0^0 до 90^0 , для трифазної зустрічно-паралельної схеми найбільше значення $K_d = 0,62$ при $\alpha = 60^0$.

Для трифазної нульової схеми $K_d = 0,2$ при $\alpha = 60^0$.

Одержимо $L_{ур} = 19$ мГн.

4.4 Обмеження струму при однофазному перекиданні інвертора

З довідника вибираємо низькочастотні тиристори по граничним значенням параметрів режиму :

- по максимальному значенню середнього струму у відкритому стані $I_{ос}$ (А);

$$I_B = 0,33 I_{нп} = 15,84 \text{ А};$$

$I_{ос}$ повинен бути не менше I_B , тобто $I_{ос} \geq 15,84 \text{ А}$.

- по імпульсній напрузі, що повторюється, в закритому стані $U_{зпс}$;

$$U_{обр.мах} = 2,09 E_{оп} = 270 \text{ В}.$$

$$U_{зпс} \geq U_{обр.мах}; \quad U_{зпс} \geq 270 \text{ В}.$$

За даними умовами вибираємо низькочастотний тиристор Т112-16-1.

- для вибраного тиристора знаходимо ударно-неповторяючийся струм у відкритому стані $I_{ос.удр}$;

$$I_{ос.удр} = 200 \text{ А}.$$

4.5 Обмеження струму через тиристори при короткому замиканні на стороні постійного струму

При короткому замиканні на стороні постійного струму струмообмежувальний реактор повинен обмежити швидкість наростання аварійного струму, щоб він не перевищив небезпечного для тиристорів значення в перебігу власного часу спрацьовування захисних пристроїв. Обмеження струму через вентилі може бути одержано за рахунок індуктивності розсіяння обмоток трансформатора і індуктивності в ланцюзі постійного струму.

Необхідна величина загальної індуктивності для нульової схеми :

$$L_{\Sigma}^{K3} \approx 2,1 U_{2\phi} / (\omega_c (I_{доп} - I_{нач}));$$

де $I_{\text{нач}}$ – початковий струм у момент короткого $I_{\text{нач}} = I_{\text{в}}$ при максимальному навантаженні ЕП; $I_{\text{доп}}$ – максимально допустимий в перебігу напівперіоду струм вентиля; $I_{\text{доп}} = I_{\text{ос.удр}}$.

$$I_{\text{нач}} = 15,84 \text{ А}; \quad I_{\text{доп}} = 200 \text{ А}; \quad U_{2\phi} = E_{2\phi} = 110 \text{ В};$$

$$\text{Одержимо } L_{\text{кз}\Sigma} = 0,004 \text{ Гн.}$$

Індуктивність додаткового реактора :

$$L_{\text{др}} = L_{\Sigma}^{K3} - (L_{\text{ур}} + L_{\text{эл}}) = -0,016 \text{ Гн},$$

$$\text{де } L_{\text{эл}} = X_A / \omega_c = 0,0018 \text{ Гн.}$$

Ми одержали негативну індуктивність додаткового реактора. Це означає, що індуктивність зрівняльного реактора і індуктивність ЕП досить для обмеження швидкості наростання аварійного струму. Тому не потрібно встановлювати додатковий реактор.

4.6 Згладжування пульсацій випрямленого струму

Пульсації випрямленої напруги приводять до пульсацій випрямленого струму, які погіршують комутацію двигуна і збільшують його нагрів. У симетричних мостових і в нульових схемах найбільшу амплітуду мають основні гармоніки ($k=1$).

Амплітуди гармонік вищої кратності ($k=2, 3$) значно менше, а дія реакторів на них більш ефективніше, тому розрахунки індуктивності дроселя для цих схем ведеться тільки по основній гармоніці, тобто при $k=1$.

Визначимо максимально можливу величину амплітудного значення гармонійних складових випрямленої напруги E_{nm} при $\alpha=80^\circ$.

$K = 1$ – основна гармоніка.

$p = 3$ - число пульсацій за період.

$$E_{nm} = E_{оп} \cdot \frac{2 \cdot \cos \alpha}{k^2 \cdot p^2 - 1} \cdot \sqrt{1 + k^2 \cdot p^2 \cdot \tan^2 \alpha};$$

$$E_{nm} = 95,47 \text{ В.}$$

При відомій амплітуді основної гармоніки E_{nm} і допустимому діючому значенню основної гармоніки струму $P(1) = 10\%$ необхідна величина індуктивності ланцюга випрямленого струму може бути визначена по формулі:

$$L_{\Sigma}^{\Pi} = \frac{E_{nm} \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot k \cdot p \cdot \omega_c \cdot P_{(1)} \cdot I_H};$$

$$L_{\Sigma} = 4,52 \text{ мГн};$$

Індуктивність додаткового реактора :

$$L_{др} = L_{\Sigma}^{\Pi} - (L_{я} + L_{ур} + L_{эп});$$

$$L_{др} = 4,48 \text{ мГн};$$

Остаточна величина додаткового реактора в ланцюзі якоря двигуна визначається по найбільшому значенню $L_{др} = 4,48 \text{ Гн}$. Тоді еквівалентна індуктивність якірного ланцюга двигуна :

$$L_{э} = L_{др} + L_{я} + L_{ур} + L_{эп}; \quad L_{э} = 4,52 \text{ мГн};$$

4.7 Розрахунок параметрів об'єкту регулювання для аналізу динамічних властивостей системи

Еквівалентний опір якірного ланцюга двигуна:

$$R_{э} = R_{эп} + \beta_T (R_{я} + R_{дп}) 1,5; \quad R_{э} = 3,484 \text{ Ом}$$

де $\beta_T = 1,24$ – температурний коефіцієнт.

Електромагнітна постійна часу якірного ланцюга двигуна:

$$T_{э} = \frac{L_{э}}{R_{э}}; \quad T_{э} = 1,298 \text{ с};$$

Електромеханічна постійна часу якірного ланцюга двигуна:

$$T_M = \frac{J_{пр} \cdot R_{э}}{C_{дв}^2}; \quad T_M = 10,58 \text{ с};$$

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача

Вибираємо СІФУ з арккосинусної характеристикою $\alpha = \arccos(U_y)$. Статична характеристика такого ТП лінійна

$$K_{\Pi} = \frac{E_{оп}}{U_{y_{\max}}} \quad K_{\Pi} = 62,5;$$

де $U_{y \max} = 10\text{В}$ – напруга управління на вході ТП, відповідне максимальній ЕДС на виході Еоп.

Для практичних розрахунків передавальну функцію ТП можна представити у вигляді інерційної ланки :

$$W_{MN}(p) = \frac{K_{\Pi}}{T_{\Pi}p + 1}$$

де T_{Π} – постійна часу ТП, $T_{\Pi} = \frac{1}{pf_c} = 6.67 \cdot 10^{-3}$ с.

Одержимо
$$W_{MN}(p) = \frac{12.903}{6.67 \cdot 10^{-3} \cdot p + 1}$$

4.8 Розрахунок параметрів регулятора і елементів контура регулювання струму якоря в системі підлеглого регулювання

Система підлеглого регулювання є багатоконтурною системою з каскадним включенням регуляторів. При цьому число регуляторів і контурів регулювання рівне числу регульованих параметрів. У двоконтурній схемі (рисунок 4.1) вихідний сигнал регулятора швидкості, включений в зовнішній контур, є задаючим для регулятора струму, включеного у внутрішній контур. Налаштування регуляторів проводиться незалежно і послідовно від внутрішнього контура до зовнішнього.

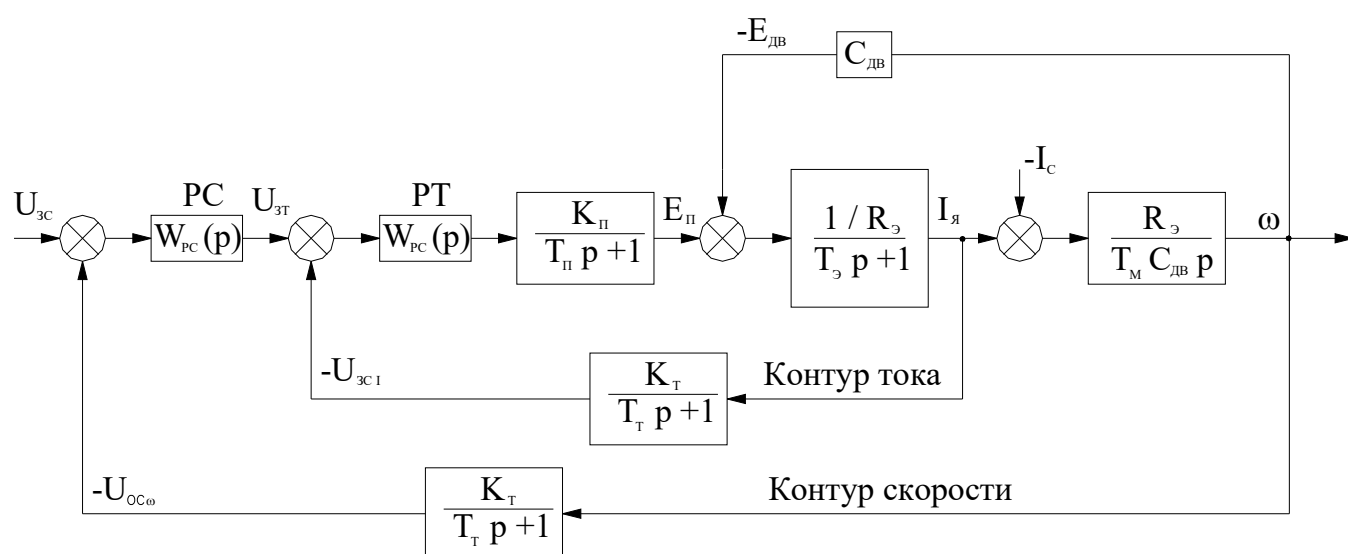


Рисунок - 4.1 Двоконтурна система підлеглого регулювання

Контур струму складається з об'єкту регулювання – ланцюга якоря двигуна, силового перетворювача і регулятора струму. Контур зв'язується зворотним зв'язком по величині напруги, що знімається з датчика струму в ланцюзі якоря.

Передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$K_T = \frac{U_{\text{ОСТ.МАХ}}}{I_{\text{ДВ.МАХ}}} \quad (51)$$

де $U_{\text{ост}} = 10 \text{ В}$ – напруга зворотного зв'язку по струму;

$I_{\text{ДВ.МАХ}}$ – максимально допустимий струм двигуна в перехідних процесах.

Для високомоментного двигуна $I_{\text{ДВ.МАХ}} = 2 I_n = 48 \text{ А}$.

Одержуємо $K_T = 0,159$.

Настройка регулятора струму:

Оскільки об'єкт регулювання в контурі струму представлений аперіодичними ланками, застосовується ПІ-регулятор струму, який настраюється по модульному (технічному) оптимуму. При стандартній настройці контура струму звично нехтують внутрішнім зворотним зв'язком по ЕДС, що справедливо, тому що електромагнітна і електромеханічна постійні двигуна значно перевершують постійну часу ВП ($T_{\text{П}} = 0,0067 \text{ з}$), і $T_{\text{М}} \gg T_{\text{Э}}$.

Передавальна функція об'єкту регулювання контура струму, приведеного до контура з одиничним зворотним зв'язком:

$$W_{\text{обт}}(p) = \frac{K_{\text{П}} K_T \cdot 1/R_{\text{Э}}}{T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{1}{T_{\text{Э}} p + 1};$$

Об'єкт містить велику постійну часу $T_{\text{Э}}$ і малу T_{μ} , яку називають некомпенсованою малій постійній часу.

$$T_{\mu} = T_{\text{П}} + T_{\text{ДГ}} = 7,01 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Передавальна функція оптимізованого контура при настройці на модульний (технічний) оптимум:

$$W_{\text{опт}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)};$$

Для отримання перехідного процесу в контурі струму, відповідного на-
стройці на МО, визначимо передавальну функцію регулятора струму з рівності:

$$W_{PT}(p) \cdot W_{OBT}(p) = W_{OPT}(p);$$

$$W_{PT}(p) = W_{OPT}(p) / W_{OBT}(p) = \frac{R_3(T_3 p + 1)}{2T_\mu p K_T K_\Pi} = K_{PT} + \frac{1}{T_{PT} p};$$

Тобто для відповідності перехідного процесу в контурі регулювання стру-
му перехідному процесу в контурі оптимальній структурі, необхідний ПІ-
регулятор струму з коефіцієнтом передачі K_{PT} і постійний часу T_{PT} :

$$K_{PT} = \frac{R_3 T_3}{2T_\mu K_T K_\Pi} = 0,223;$$

$$T_{PT} = T_3 / K_{PT} = 0,03 \text{ с.}$$

Передавальна функція розімкненого ланцюга контура струму:

$$W_{PKT}(p) = W_{PT}(p) \cdot W_{OBT}(p) = W_{PT}(p) \frac{K_T K_\Pi / R_3}{(T_3 p + 1)(T_\mu p + 1)}$$

Розрахунок параметрів регулятора струму

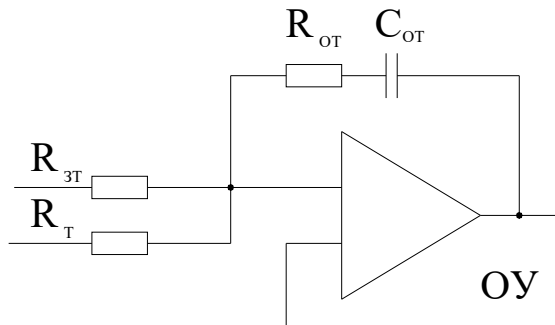


Рисунок - 4.2 ПІ – регулятор струму

Для розрахунку параметрів регулятора (рисунок 4.2) можна задатися вели-
чиною місткості $C_{OC} = 1,6 \text{ мкФ}$.

Постійна часу зворотного зв'язку регулятора:

$$T_{PT}^* = T_3 = R_{OC} C_{OC};$$

$$\text{звідки визначимо } R_{OC} = \frac{T_{PT}^*}{C_{OC}} = 4.148 \text{ кОм};$$

Решта параметрів:

$$R_{3T} = T_{PT}^* / (K_{PT} C_{OC}) = T_{PT} / C_{OC}; \quad R_{3T} = 18.6 \text{ кОм};$$

Виберемо номінальний струм шунта з умови: $I_{нш} \geq I_{нп}$

$$I_{нш} = 100 \text{ А.}$$

Коефіцієнт передачі датчика струму якоря:

$$K_{дя} = (10 / 75 \cdot 10^{-3}) = 133.33 ;$$

Коефіцієнт передачі шунта:

$$K_{шя} = 75 \cdot 10^{-3} / I_{нш} = 7.5 \cdot 10^{-4} ;$$

$$R_T = \frac{K_{шя} K_{дя} R_{3T}}{K_T} ; \quad R_T = 11.7 \text{ ком.}$$

4.9 Розрахунок параметрів регулятора контура швидкості

Об'єктом регулювання зовнішнього контура швидкості є замкнутий контур струму і ланка, що описує механічний опір двигуна (рисунок 4.3).

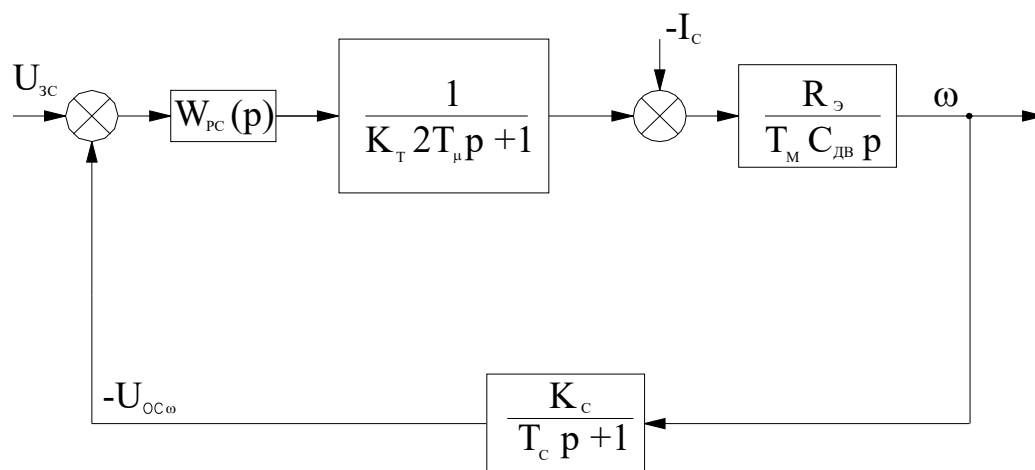


Рисунок - 4.3 Контур швидкості

Перехідна функція об'єкту регулювання контура швидкості:

$$W_{обс}(p) = \frac{1 / K_T}{2T_\mu p + 1} \cdot \frac{K_M}{T_M p}$$

$$\text{де } K_M = \frac{R_\text{э}}{C_\text{дв}} = 2,23.$$

Контур замикається інерційним зворотним зв'язком за швидкістю з передавальною функцією:

$$W_{oc}(p) = \frac{K_c}{T_c p + 1} ; \quad K_c = \frac{U_{oc.w/\text{MAX}}}{\omega_{\text{MAX}}} ;$$

де $U_{oc\ max}$ – напруга негативного зворотного зв'язку за швидкістю

$$U_{oc.w.max} = U_{zc.max};$$

$U_{zc\ max}$ – напруга завдання максимальної швидкості.

$$U_{zc.max} = 10B;$$

ω_{max} – максимальна кутова швидкість двигуна.

$$\omega_{max} = \frac{n_{max} \cdot \pi}{30}; \quad \omega_{max} = 209,4 \text{ с}^{-1};$$

$$K_c = 0,048.$$

$$T_{\mu c} = 2 \cdot T_{\mu} + T_{дт} = 0,0144 \text{ з} - \text{еквівалентна постійна часу контура швидкості.}$$

Об'єкт регулювання характеризується більшою постійною часу T_m , для компенсації якої можна застосувати П- або ПІ-регулятори швидкості. Системи підлеглого регулювання з П- регулятором швидкості є одноразово інтегруючими. Вони мають достатньо високу швидкодію і мале перерегулювання перехідних процесів, проте володіють значним статизмом. Такі системи електроприводу не здатні забезпечити великий діапазон регулювання швидкості.

Системи з ПІ- регулятор швидкості називають двократно інтегруючими. Вони забезпечують широкий діапазон регулювання і практично нульову статичну помилку при обуренні по моменту опору. При настройці регулятора на симетричний оптимум характеризуються перерегулюванням 43%. Зменшити перерегулювання можна шляхом включення на вхід СУ фільтру (аперіодична ланка).

4.10 Настройка ПІ – регулятора швидкості

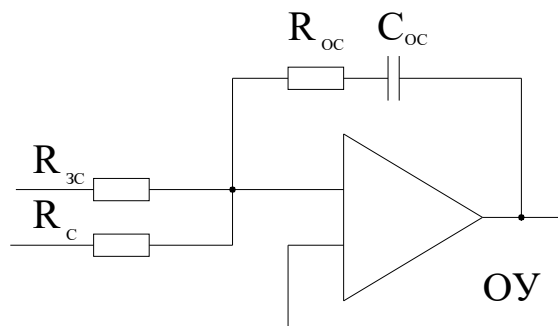


Рисунок - 4.4 ПІ – регулятор швидкості

Передавальна характеристика розімкненого контура швидкості з ПІ-регулятор:

$$W_{PIKC}(p) = k_{PIPC} \cdot \frac{1 + T_{PC}^x \cdot p}{T_{PC}^x \cdot p} \cdot \frac{1}{k_T} \cdot \frac{1}{T_{\mu C} \cdot p + 1} \cdot \frac{k_C \cdot k_M}{T_M \cdot p};$$

При стандартній настройці на симетричний оптимум визначимо параметри ПІ-регулятор:

$$W_{PIKC}(p) = k_{PIPC} \cdot \frac{1 + T_{PC}^x \cdot p}{T_{PC}^x \cdot p} = k_{PIPC} + \frac{1}{T_{PC} \cdot p};$$

$$k_{PIPC} = C_{ДВ} \cdot k_T \cdot T_M / (R_{\mathcal{E}} \cdot k_C \cdot 2 \cdot T_{\mu C}); \quad K_{PIPC} = 0,389;$$

$$T_{PC}^x = 4 \cdot T_{\mu C}; \quad T_{PC}^x = 0,056 \text{ с};$$

$$T_{PC} = T_{PC}^x / k_{PC}; \quad T_{PC} = 0,148 \text{ с};$$

Підставивши значення K_{PC} і $T_{хрс}$, одержимо:

$$W_{PIKC}(p) = (1 + 4 \cdot T_{\mu C} \cdot p) / (8 \cdot T_{\mu C}^2 \cdot p^2 \cdot (1 + T_{\mu C} \cdot p));$$

тобто регулятор компенсував велику постійну часу T_M і динамічні властивості контура визначається тільки по малій постійній часу T_C .

Перехідна функція фільтру на вході СУ з ПІ-регулятор швидкості:

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1}{1 + 4 \cdot T_{\mu C} \cdot p}.$$

4.11 Розрахунок параметрів регулятора швидкості

Для розрахунку параметрів ПІ-регулятор швидкості (рисунок 4.4), задавши величиною місткості $C_{OC} = 1.6 \text{ мкФ}$, визначимо R_{OC} із співвідношення :

$$T_{PC}^x = R_{OC} C_{OC}; \Rightarrow R_{OC} = \frac{T_{PC}^x}{C_{OC}} = 35.3 \text{ КОм.}$$

Решта параметрів елементів регулятора:

$$R_{3C} = T_{PC}^x / (k_{PC} C_{OC}) = T_{PC} / C_{OC}; \quad R_{3C} = 90.8 \text{ КОм.}$$

Визначимо коефіцієнт передачі тахогенератора:

$$k_{ТХГ} = U_{ТХГ} / \omega_{ТХГ}; \quad k_{ТХГ} = 100 / 3000 = 0,033$$

$$R_C = k_{ТХГ} R_{3C} / k_C; \quad R_C = 37.8 \text{ КОм.}$$

4.12 Побудова статичних характеристик

Визначимо U_{3C} відповідне $\omega_{н, \max}$, $\omega_{н, \min}$:

$$\omega_{MAX} = n_{P.MAX} \cdot \frac{\pi}{30} = 2.269 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_H = n_H \cdot \frac{\pi}{30} = 104,72 \text{ c}^{-1}; \quad \omega_{MIN} = n_{P.MIN} \cdot \frac{\pi}{30} = 0,785 \text{ c}^{-1};$$

$$U_{3c} := \begin{pmatrix} \omega_{min} \cdot K_c \\ \omega_n \cdot K_c \\ \omega_{max} \cdot K_c \end{pmatrix} \quad U_{3c} := \begin{pmatrix} 1.005 \cdot 10^{-2} \\ 5.027 \\ 1.005 \end{pmatrix}$$

Побудуємо статичні характеристики системи для ПІ-регулятор швидкості:

$$\omega_1(I) := \frac{U_{y0} \cdot K_{ПІpc} - I \cdot R_3}{C_{дв}}$$

$$\omega_2(I) := \frac{U_{y1} \cdot K_{ПІpc} - I \cdot R_3}{C_{дв}}$$

$$\omega_3(I) := \frac{U_{y2} \cdot K_{ПІpc} - I \cdot R_3}{C_{дв}}$$

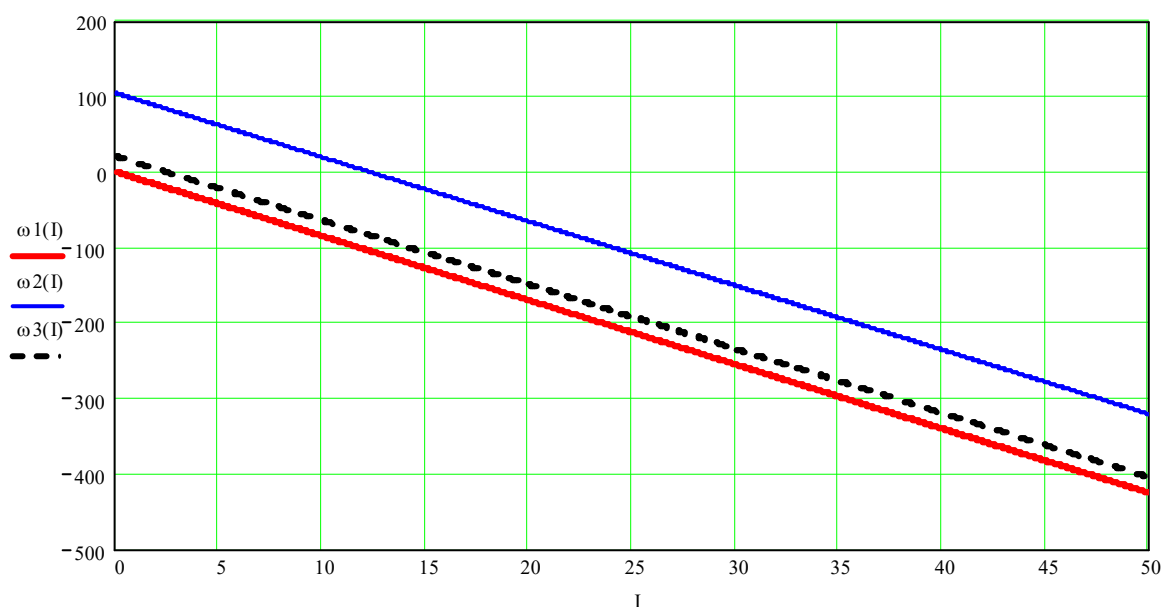


Рисунок - 4.5 Статична характеристика розімкненої системи

4.13 Розрахунок перехідних процесів

ПФ ПІ-регулятор швидкості:

$$W_{ПІpc}(p) = k_{ПІpc} \cdot \frac{1 + T_{PC}^{\times} \cdot p}{T_{PC}^{\times} \cdot p}$$

ПФ ПІ-регулятор струму:

$$W_{PT}(p) = K_{PT} + \frac{1}{T_{PT} p}$$

ПФ тиристорного перетворювача:

$$W_{ТП}(p) = \frac{K_{П}}{T_{П} p + 1}$$

ПФ датчика струму:

$$W_{ДТ}(p) = \frac{K_T}{T_T p + 1}$$

ПФ датчика швидкості:

$$W_{ДС}(p) = \frac{K_C}{T_C p + 1}$$

ПФ фільтру:

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1}{1 + 4 \cdot T_{\mu C} \cdot p}$$

$$W_1(p) = \frac{1/R_{\mathcal{E}}}{T_{\mathcal{E}} p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{R_{\mathcal{E}}}{C_{ДВ} \cdot T_M \cdot p};$$

$\text{pulse}(x, w) := \Phi(x) - \Phi(x - w);$

$\text{bandpass}(x, w, f) := \text{pulse}(x - f, w);$

Задаюча дія:

$u_{зс}(t) := 7 \cdot \text{bandpass}(t, \infty, 0)$

Збурююча дія:

$i_c(t) := \frac{4.9}{C_{ДВ}} \cdot \text{bandpass}(t, \infty, 0.5)$

В, А

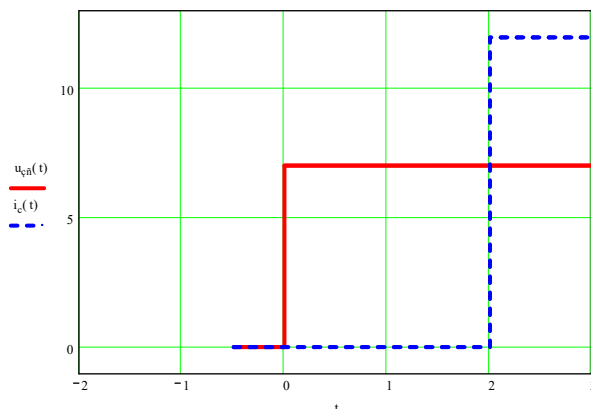


Рисунок - 4.6 Характеристика задаючої і збурюючої дій.

$$U_{зс}(s) := u_{зс}(t) \text{ laplace, } t \rightarrow \frac{7}{s} - 7 \cdot \frac{\exp(-\infty \cdot s)}{s};$$

$$I_c(s) := i_c(t) \text{ laplace, } t \rightarrow \frac{11.93 \cdot \exp(-0.5 \cdot s)}{s} - 11.93 \cdot \frac{\exp((-0.5 - 1 \cdot \infty) \cdot s)}{s}$$

Передавальна функція при ПІ – регулятор швидкості:

$$\Omega_{\Pi\Pi}(p) := \frac{U_{zc}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p) \cdot W_{\Pi\Pi pc}(p) - I_c(p) \cdot \left(W_{dT}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p) + \frac{1}{W_1(p)} \right)}{C_{дв} + \frac{1}{W_2(p)} \cdot \left(W_{dT}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p) + \frac{1}{W_1(p)} \right) + W_{дс}(p) \cdot W_{\Pi\Pi pc}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p)}$$

Передавальна функція при ПІ – регуляторі швидкості з фільтром на вході системи:

$$\Omega_{\Phi}(p) := \frac{U_{zc}(p) \cdot W_{\Phi}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p) \cdot W_{\Pi\Pi pc}(p) - I_c(p) \cdot \left(W_{dT}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p) + \frac{1}{W_1(p)} \right)}{C_{дв} + \frac{1}{W_2(p)} \cdot \left(W_{dT}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p) + \frac{1}{W_1(p)} \right) + W_{дс}(p) \cdot W_{\Pi\Pi pc}(p) \cdot W_{PT}(p) \cdot W_{TP}(p)}$$

Перехідний процес при ПІ - регулятор швидкості:

$$\omega_{\Pi\Pi}(t) := \Omega_{\Pi\Pi}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

Перехідний процес при П - регуляторі швидкості:

$$\omega_{\Pi}(t) := \Omega_{\Pi}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

Перехідний процес при ПІ - регуляторі швидкості з фільтром на вході системи:

$$\omega_{\Phi}(t) := \Omega_{\Phi}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

$$t := 0, 0.001.. 0.4 \quad \omega_{уст} := 26.33$$

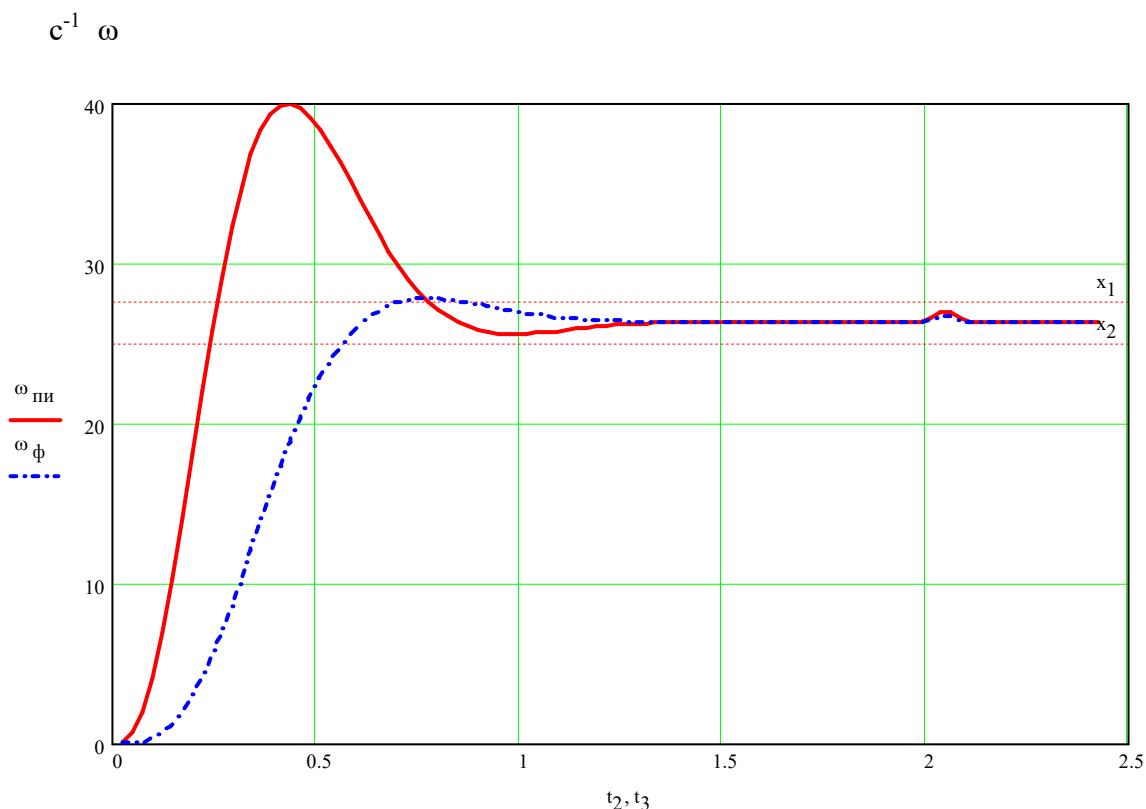


Рисунок - 4.7 Перехідні процеси кутової швидкості

$$\omega_{уст} := 26.33 \quad \omega_{п.мах} := 28.028 \quad \omega_{\pi.мах} := 39.671 \quad \omega_{\phi.мах} := 27.785$$

Перерегулирование:

$$\sigma_{\pi} := \frac{\omega_{п.мах} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \cdot 100 \quad \sigma_{\pi} = 6.449$$

$$\sigma_{\pi\pi} := \frac{\omega_{\pi.мах} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \cdot 100 \quad \sigma_{\pi\pi} = 35.477$$

$$\sigma_{\phi} := \frac{\omega_{\phi.мах} - \omega_{уст}}{\omega_{уст}} \cdot 100 \quad \sigma_{\phi} = 5.526$$

Передавальна функція ЕДС тиристорного перетворювача при ПІ - регулятор швидкості:

$$E_{\pi\Pi\Pi}(p) := \frac{U_{zc}(p) \cdot W_{\Pi\Pi pc}(p) + I_c(p) \cdot \left[\frac{1}{W_1(p) \cdot C_{дв} + \frac{1}{W_2(p)}} \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{\Pi\Pi pc}(p) + \frac{W_{дт}(p)}{W_2(p)} \right) - W_{дт}(p) \right]}{\left(W_1(p) \cdot C_{дв} + \frac{1}{W_2(p)} \right) \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{\Pi\Pi pc}(p) + \frac{W_{дт}(p)}{W_2(p)} \right) + \frac{1}{W_{PT}(p) \cdot W_{тп}(p)}}$$

Передавальна функція ЭДС тиристорного перетворювача при ПІ - регуляторі швидкості з фільтром:

$$E_{\Pi\Phi}(p) := \frac{U_{zc}(p) \cdot W_{\Phi}(p) \cdot W_{\Pi Ip}(p) + I_c(p) \cdot \left[\frac{1}{W_1(p) \cdot C_{дв} + \frac{1}{W_2(p)}} \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{\Pi Ip}(p) + \frac{W_{дт}(p)}{W_2(p)} \right) - W_{дт}(p) \right]}{\frac{W_1(p)}{\left(W_1(p) \cdot C_{дв} + \frac{1}{W_2(p)} \right)} \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{\Pi Ip}(p) + \frac{W_{дт}(p)}{W_2(p)} \right) + \frac{1}{W_{PT}(p) \cdot W_{тп}(p)}}$$

Перехідний процес ЭДС тиристорного перетворювача при ПІ - регулятор швидкості:

$$e_{\Pi\Pi}(t) := E_{\Pi\Pi}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

Перехідний процес ЭДС тиристорного перетворювача при ПІ - регуляторі швидкості з фільтром на вході системи:

$$e_{\Pi\Phi}(t) := E_{\Pi\Phi}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

$$e_{уст} = 54 \text{ В;}$$

В, e_{Π}

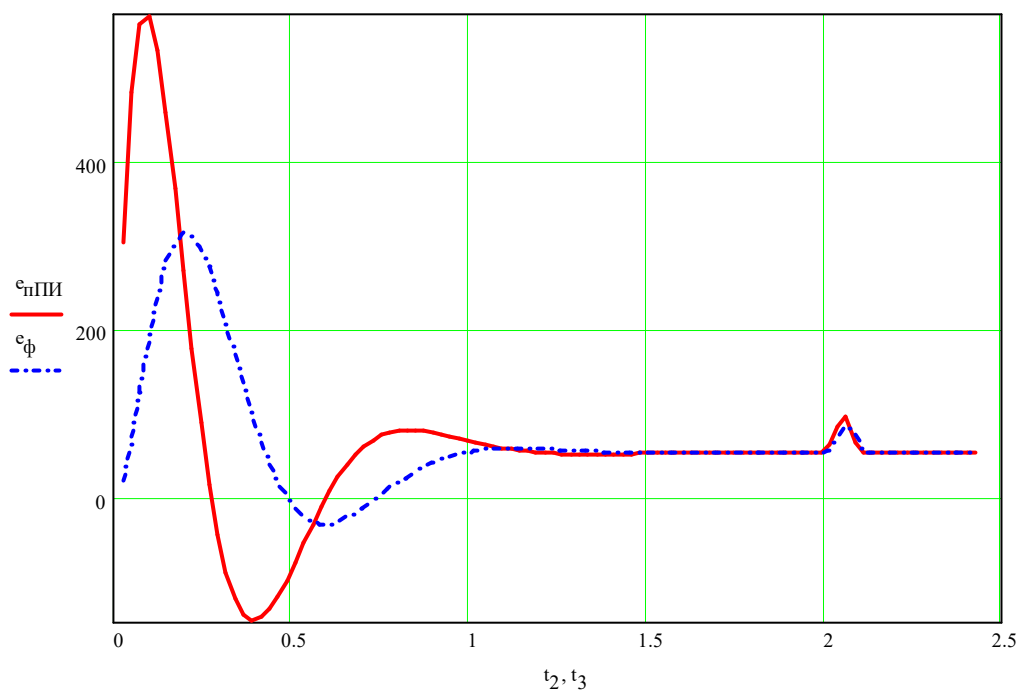


Рисунок - 4.8. Перехідні процеси ЕДС тиристорного перетворювача

Передавальна функція струму якоря при ПІ - регулятор швидкості:

$$I_{яПІ}(p) := \frac{U_{зс}(p) \cdot W_{ПІрс}(p) + W_2(p) \cdot I_c(p) \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{ПІрс}(p) + \frac{C_{дв}}{W_{рТ}(p) \cdot W_{тП}(p)} \right)}{W_2(p) \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{ПІрс}(p) + \frac{C_{дв}}{W_{рТ}(p) \cdot W_{тП}(p)} \right) + \frac{1}{W_1(p) \cdot W_{рТ}(p) \cdot W_{тП}(p)} + W_{дт}(p)}$$

Передавальна функція струму якоря при ПІ - регуляторі швидкості з фільтром на вході системи:

$$I_{яФ}(p) := \frac{U_{зс}(p) \cdot W_{ф}(p) \cdot W_{ПІрс}(p) + W_2(p) \cdot I_c(p) \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{ПІрс}(p) + \frac{C_{дв}}{W_{рТ}(p) \cdot W_{тП}(p)} \right)}{W_2(p) \cdot \left(W_{дс}(p) \cdot W_{ПІрс}(p) + \frac{C_{дв}}{W_{рТ}(p) \cdot W_{тП}(p)} \right) + \frac{1}{W_1(p) \cdot W_{рТ}(p) \cdot W_{тП}(p)} + W_{дт}(p)}$$

Перехідний процес струму якоря при ПІ - регулятор швидкості:

$$i_{яПІ}(t) := I_{яПІ}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

Перехідний процес струму якоря при ПІ - регуляторі швидкості:

$$i_{яП}(t) := I_{яП}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

Перехідний процес струму якоря при ПІ - регуляторі швидкості з фільтром на вході системи:

$$i_{яФ}(t) := I_{яФ}(s) \text{ invlaplace, } s \rightarrow$$

$$i_{уст} = 11,925 \text{ A;}$$

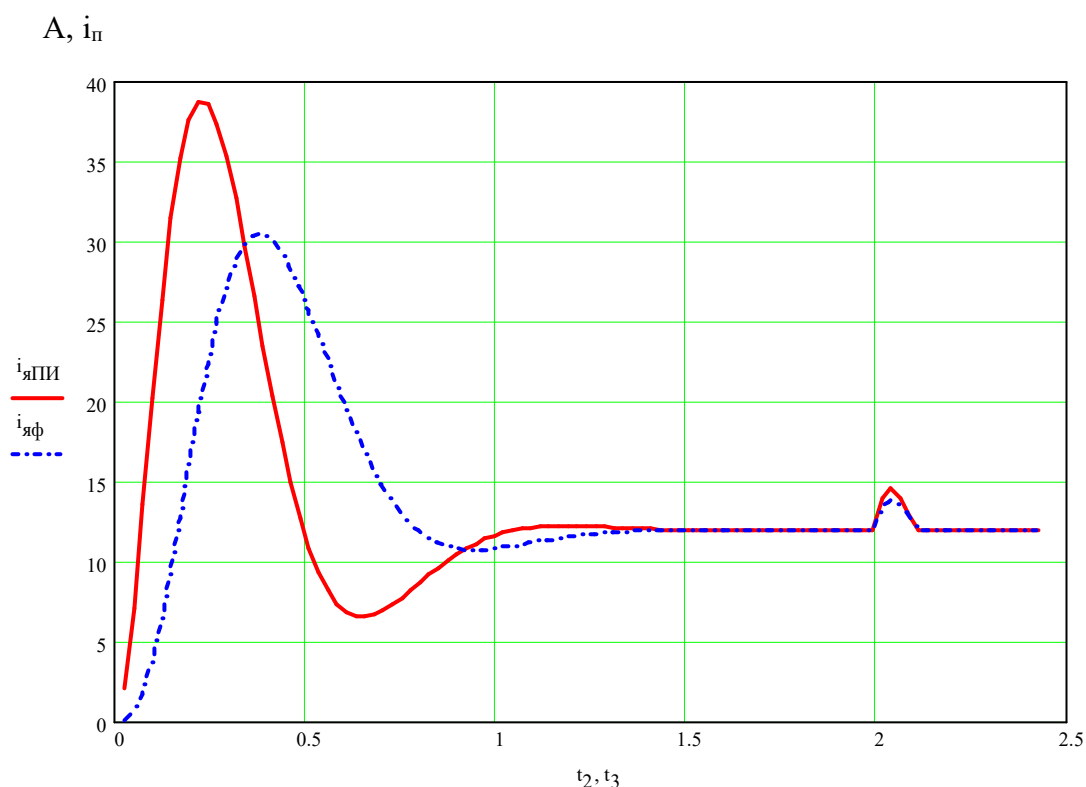


Рисунок - 4.9 Перехідні процеси струму якоря

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок що обраний комплектний електропривод задовольняє всім вимогам які висуваються до автоматизуємого устаткування. Так як режим роботи з нагнітачами є більш важким і складним в зрівнянні з режимом роботи автоматизованого шаберу то можна зробити висновок що автоматизована система управління буде забезпечувати всі необхідні вимоги які висуваються до роботи шаберу. Контроль за положенням механізму шабера здійснюється за допомогою револьвера який входить до складу комплектного електропривода. Керування положенням шаберу виконується програмно з застосуванням ЕОМ, і застосовується тільки при роботі автоматизованого шаберу.

5 Охорона праці

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

Повністю безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Задачі охорони праці - звести до мінімуму вірогідність ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Охорона праці включає:

- виробничу санітарію — систему організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують дію на працюючих шкідливих виробничих чинників;
- техніку безпеки - система організаційних заходів і технічних засобів, запобігають або зменшують дію на працюючих небезпечних виробничих чинників;
- пожежо - і вибухобезпечність - система організаційних заходів і технічних засобів, направлених на профілактику і ліквідацію пожеж і вибухів, обмеження їх наслідків;
- законодавство по охороні праці.

5.1 Розрахунок захисного заземлення установки з приводом постійного струму

Захисним заземленням називається навмисне з'єднання нетоковедущих частин, які можуть опинитися під напругою, із заземляючим пристроєм.

Корпуси електричних машин, джерел живлення, електричні апарати і інші частини, виконані з токопроводящих матеріалів, можуть опинитися під напругою при замиканні їх токоведущих частин на корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту із землею, дотик до нього так само небезпечне, як і дотик до фази. Якщо ж корпус заземлений, він опиниться під напругою

$$U_3 = I_3 R_3$$

де I_3 - струм замикання на землю; R_3 - опір що заземляє пристрої.

Людина, що стосується цього корпусу, потрапляє під напругу зіткнення:

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{з}} \alpha_1 \alpha_2$$

де α_1 - коефіцієнт напруги зіткнення; α_2 - коефіцієнт, що враховує падіння напруги в додатковому опорі ланцюга людини.

Струм через людину рівний



звідки видно, що чим менше $R_{\text{з}}$ і α_1 , тим менше струм проходить через людину, що стоїть на землі і стосується корпусу устаткування, яке знаходиться під напругою.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначити основні параметри заземлення: число, розміри і розміщення одиночних заземлителів і що заземляють провідників, при яких напруга дотику і кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень. При цьому розрахунок проводиться звично для випадків розміщення заземлителя в однорідній землі (спосіб коефіцієнтів використання).

Найбільший допустимий опір що заземляє пристрої для електричних установок напругою до 1000 В у будь-який час року не повинно перевищувати 4 Ом.

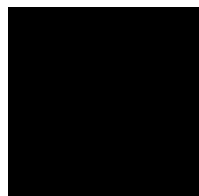
Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту з урахуванням кліматичного коефіцієнта:

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{уд}} \cdot \varphi = 601,4 = 84 \text{ Ом},$$

де $\rho_{\text{уд}}$ - питомий опір для ґрунту (для глини $\rho_{\text{уд}}=60 \text{ Ом}$);

φ - кліматичний коефіцієнт ($\varphi = 1,4$).

Опір одиночного вертикального трубчастого заземлення визначається по формулі:



де H , L , D - розміри заземлителя.

Як вертикальні електроди використовуємо сталеві труби з розмірами (рисунок 5.1): $d = 0,03$ м; $L = 3,5$ м; $H_0 = 0,8$ м; $H = 2,3$ м.

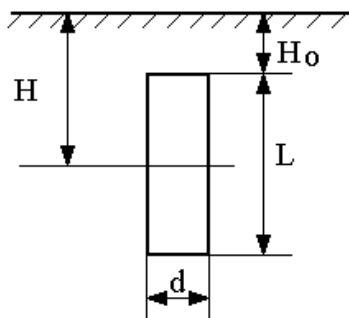


Рисунок - 5.1 Трубчатий заземлювач в ґрунті.

Опір розтікання струму одиночного стрижня:

$$R = \frac{84}{2\pi \cdot 2,5} \cdot \left[\text{Ln} \frac{2 \cdot 2,5}{0,03} + \frac{1}{2} \cdot \text{Ln} \frac{4 \cdot 2,3 + 2,5}{4 \cdot 2,3 - 2,5} \right] = 28,7 \text{ Ом.}$$

Попередня кількість вертикальних заземлювачів:

$$n' = R_{\text{ст.од.}} / R_{\text{доп}} = 28,7 / 4 \approx 8 \text{ стрижнів.}$$

Вибираємо відстань між вертикальними заземлювачами: $a = 2,5$ м.

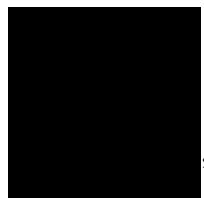
По таблиці [11] приймаємо коефіцієнт використання вертикальних стрижнів $\eta_{\text{ст}} = 0,6$. З урахуванням цього уточнене число вертикальних заземлювачів:

$$n = n' / \eta_{\text{ст}} = 8 / 0,6 \approx 14 \text{ стрижнів.}$$

Визначаємо довжину смуги, що сполучає вертикальні заземлювачі:

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 14 = 36,8 \text{ м.}$$

Опір розтікання струму смуги магістралі (рисунок 5.2):



де b - ширина смуги ($b = 0,03$ м);

h - глибина смуги заземлення ($h = 0,85$ м); L - довга смуги; ρ - питомий опір.

$$R_n = 0,159 \cdot \frac{84}{36,8} \cdot \text{Ln} \frac{2 \cdot 36,8^2}{0,03 \cdot 0,85} = 4,2 \text{ Ом.}$$

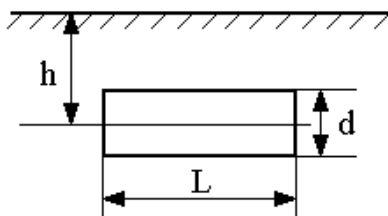


Рисунок - 5.2 Смуга в гранті

Опір розтікання струму всього пристрою:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\eta_2}{R_n} + \frac{n \cdot \eta_1}{R_{ст. од}}} = \frac{1}{\frac{0,48}{4,2} + 14 \cdot \frac{0,6}{28,7}} = 2,45 \quad \text{Ом}$$

де η_1 - коефіцієнт використання заземлителя ($1 = 0,6$);

η_2 - коефіцієнт використання сполучної смуги [11] ($\eta_2 = 0,48$).

Оскільки одержаний опір $R_3 = 2,45$ Ом менше допустимого $R_{доп} = 4$ Ом, то заземлювач забезпечує якісне заземлення корпусу електродвигуна.

5.2 Розробка заходів по забезпеченню безпечної експлуатації електроустановки з приводом постійного струму

Досвід показує, що для забезпечення безпечної, безаварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно разом з досконалим виконанням їх і оснащенням захисними засобами так організувати їх експлуатацію, щоб виключити всяку можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу.

Основою організації безпечної експлуатації електроустановок є висока технічна письменність і свідомі дисципліна обслуговуючого персоналу, який зобов'язаний строго дотримувати організаційні і технічні заходи, а також прийоми і черговість виконання експлуатаційних операцій відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Особи, обслуговуючі електроустановки, не повинні мати каліцтв і хвороб, що заважають виробничій роботі. Для персоналу бере безпосередню участь в оперативних перемиканнях і ремонтних роботах в електроустановках, стан здоров'я встановлюється медичним оглядом при прийнятті на роботу, а потім періодично один раз в два роки.

Кожний працівник до призначення його на самостійну роботу по обслуговуванню електроустановок або при переведенні на іншу ділянку роботи зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці і перевірку знань. Одночасно він зобов'язаний вивчити правила техніки безпеки, правила надання першої допомоги. Кожний працівник до призначення його на самостійну роботу по обслуговуванню електроустановок або при переведенні на іншу ділянку роботи зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці і перевірку і т.п. в об'ємі, відповідному вимогам його робочого місця. Перевірка знань Правил техніки безпеки проводиться кваліфікованою комісією після навчання на робочому місці.

Всі роботи по експлуатації діючої установки проводяться при обов'язковому дотриманні наступних умов:

- на роботу повинен бути видано дозвіл уповноваженою на це особою;
- робота повинна проводитися, як правило, не менше ніж двома особами;
- повинні бути виконані організаційні і технологічні заходи, що забезпечують безпеку персоналу.

Висновок

Основне завдання кваліфікаційної роботи – розробка системи автоматичного керування електроприводом вентилятора подачі (та відсосу) повітря в топку котельного агрегату та приводом автоматизованого шаберу.

У відповідності до мети кваліфікаційної роботи була проведена наступна робота.

Проведений опис складу котельного агрегату, розглянуті основні типи топкових пристроїв.

Проведений аналіз устаткування котельного агрегату, розроблена загальна схема автоматизованої системи керування подачі повітря, розглянута робота відцентрових вентиляторів, приведені їх характеристики, обґрунтована методика розрахунку потужності електродвигуна вентиляторів, короблена конструкція електромеханічного шаберу.

Проведений аналіз використаного комплектного електропривода «Кемток», проведений аналіз його статичних і динамічних характеристик.

Використання такої системи автоматичного керування дозволяє виконати вимоги охорони праці.

Список літератури

1. Автоматизированный электропривод. Под ред. Н.Ф.Ильинского, Н.Г. Юнькова. – М. : Энергоатомиздат, 1990.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами : Учебное пособие для ВУЗов. – Л. : Энергоиздат, 1982.
3. Брускин Д. Э. и др. Электрические машины: в 2-х ч.Ч. 1: Учебник для электротехнических специализированных ВУЗов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович В.С. Хвостов. – М. : Энергоатомиздат, 1988.
4. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – М. : Энергоатомиздат, 1984.
5. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М. : Энергия, 1977.
6. Каммерер Ю.Ю., Харкевич А.Е. Аварийные работы в очагах поражения. Учебное пособие. – К. : Высшая школа, 1987.
7. Казьмерковский М., Вуйцак А. Схемы управления и измерения в промышленной электронике. – К. : Наукова думка, 1986.
8. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для ВУЗов. – М. : Энергия, 1980.
9. Отто Дж. М. Смит. Автоматическое регулирование. – М. : Государственное издательство физико - математической литературы, 1962.
10. Охрана труда в машиностроении. Под ред. Е.Я. Юдина. : Учебник для ВУЗов. – М. : Машиностроение, 1976.
11. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общей редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т.1. – М. : Энергоатомиздат, 1988.
12. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника : Справочное руководство. Пер. с нем. – М. : 1982.
13. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода : Учебник для ВУЗов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М. : Энергоиздат, 1981.