

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Антонюк Артур Вікторович

УДК 621.22/2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування системи рекуперації енергії надлишкового тиску в електричну енергію на базі мережі водопотачання та водовідведення м. Житомир
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело .

Антонюк А.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Цивенкова Наталія Михайлівна

(прізвище, ім'я, по-батькові)

к.т.н., доцент кафедри ЕАВтаІЕ

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Антонюк А.В. Обґрунтування системи рекуперації енергії надлишкового тиску в електричну енергію на базі мережі водопотачання та водовідведення м. Житомир. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню можливості рекуперації надлишкового тиску в системах централізованого постачання тепла та гарячої води. Розглянуті схеми систем рекуперації та оцінена їх ефективність у міських умовах із розвинутою інфраструктурою.

Запропоновано заходи для покращення роботи системи, обране основне обладнання, що є її складниками.

Результати дослідження мають практичне значення для систем тепло- та водопостачання різних міст України, в тому числі і м.Житомир.

Ключові слова: рекуперація, електрична енергія, надлишковий тиск, дроселювання.

ABSTRACT

Antonyuk A.V. Substantiation of the system of recovery of excess pressure energy into electrical energy based on the water supply and drainage network of the city of Zhytomyr. Qualification work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics - Polissa National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work is devoted to the study of the possibility of recovery of excess pressure in centralized heat and hot water supply systems. The schemes of recovery systems are considered and their effectiveness is assessed in urban conditions with developed infrastructure.

Measures are proposed to improve the operation of the system, the main equipment that is its components is selected.

The results of the study have practical significance for heat and water supply systems of various cities of Ukraine, including the city of Zhytomyr.

Keywords: recovery, electrical energy, excess pressure, throttling.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМА РЕКУПЕРАЦІЇ ТИСКУ ЯК РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ГІДРАВЛІЧНОЇ РОЗБАЛАНСОВАНOSTІ СИСТЕМ ТЕПЛО- І ВОДОПОСТАЧАННЯ	6
1.1. Поняття гідравлічної розбалансованості.....	6
1.2. Система рекуперації надлишкового тиску як вирішення проблеми дроселювання	8
1.3. Енергозбереження і системи рекуперації енергії.....	10
1.4. Досвід використання рекуперації в системах з надлишковим тиском	11
Висновки до розділу 1.....	12
РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ І СХЕМИ, ПРИДАТНОЇ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СРТ.....	13
2.1 Вибір типу електричної машини	13
2.2 Аналіз різних структур системи рекуперації тиску	25
Висновки по розділу 2.....	32
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКЦІЯ І ПРИНЦИП РОБОТИ СРТ	34
3.1 Конструкція СРТ	34
3.2 Принцип роботи установки СРТ	41
3.3 Система управління установкою СРТ	43
Висновки по розділу 3.....	45
Висновки.....	46
Список використаних джерел	47
Додатки	47

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасна енергетика характеризується спрямуванням до підвищення надійності, енергоефективності та екологічної безпеки.

Споживання електроенергії постійно зростає. Так, зростання споживання електроенергії в м. Житомир сягає 5% на рік. При зростанні електроспоживання зростає і дефіцит потужностей. В даний час він оцінюється в 12-15% від загального рівня споживання. При цьому потенціал енергозбереження оцінюється приблизно в 1,1 млн. т. у. п. на рік, тобто близько 1% від всього споживання первинної енергії в Україні. Нерозумно при такому величезному потенціалі енергозбереження вирішувати проблему надійного забезпечення міста енергоресурсами тільки за рахунок збільшення виробництва енергії.

Пошуками нових нетрадиційних джерел енергії зайнята значна кількість учених в різних областях науки і техніки.

Актуальною є і проблема гідравлічної розбалансованості систем теплопостачання. Відомо, що при транспортуванні робочих і технологічних рідин (водні середовища, вуглеводні та ін.) для подолання гідравлічного опору магістральних трубопроводів потужність насосних агрегатів вибирається виходячи з необхідного тиску середовища для забезпечення найбільш віддалених об'єктів. Всі абоненти, розташовані ближче, змушені отримувати продукт під надлишковим тиском. Ця обставина призводить до значних безповоротних втрат енергії, яка просто дроселюється.

Тому розробка системи, що дозволяє вирішити, з одного боку, проблему розбалансованості гідравлічної системи, а з іншого, виробляти електроенергію нетрадиційним, екологічно чистим способом, що повністю відповідає вимогам Кіотського протоколу, є актуальною і відповідає вимогам часу. В якості електричного генератора пропонується використовувати асинхронну машину.

Метою роботи є обґрунтування системи рекуперації енергії надлишкового тиску в електричну енергію на базі мережі водопотачання та водовідведення м. Житомир.

Об'єкт дослідження: система рекуперації енергії надлишкового тиску.

Методи дослідження: при виконанні кваліфікаційної роботи були використані методи аналізу, синтезу та математичного моделювання.

Розробка рекомендацій щодо вибору оптимальних режимних параметрів роботи установок СРТ.

Створення аварійного джерела електроенергії для підтримки працездатності теплового пункту в разі раптового відключення електроенергії.

Для досягнення поставленої мети ставилися наступні *завдання*:

- Вибір оптимальної структури системи рекуперації тиску і типу електричного генератора.
- Створення схеми асинхронної машини, яку можна було б інтегрувати як складову частину в більш складну модель системи водопостачання.
- Вибір обладнання для реалізації обраної схеми.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

- Розроблено енергозберігаючу установку СРТ на основі асинхронного генератора.
- Визначено схеми установки СРТ, що дозволяють працювати паралельно з мережею і на автономне навантаження в оптимальному режимі.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Антонюк А.В. Система рекуперації надлишкового тиску як вирішення проблеми дроселювання // Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2.

2. Антонюк А.В. Принципи проектування системи рекуперації тиску. Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025.

РОЗДІЛ 1.

СИСТЕМА РЕКУПЕРАЦІЇ ТИСКУ ЯК РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ГІДРАВЛІЧНОЇ РОЗБАЛАНСОВАНOSTІ СИСТЕМ ТЕПЛО- І ВОДОПОСТАЧАННЯ

1.1. Поняття гідравлічної розбалансованості

Для передачі теплової енергії від джерела до споживача в Україні і в ряді інших країн використовуються централізовані системи тепlopостачання. На сьогоднішній день вони представляють із себе складні споруди, що містять протяжні трубопроводи, насосні станції та агрегати, значну кількість одиниць запірно-регулюючої арматури, велика кількість приладів контролю і обліку. [1]

Аналіз науково-технічних видань і публікацій [2, 3] показує, що за останній час різко знизилася ефективність транспортування, розподілу та споживання теплової енергії.

Основними проблемами систем тепlopостачання є:

- корозійні процеси і процеси накопичення відкладень на поверхні трубопроводу та обладнання;
- значний гідравлічний опір трубопроводів та обладнання;
- гідравлічна розбалансованість систем тепlopостачання.

Проблема гідравлічної розбалансованості систем тепlopостачання проявляється, зокрема, у формі дроселювання надлишкового тиску.

Внаслідок протяжності трубопроводів величина тиску теплоносія визначається з умови гарантованого забезпечення найбільш віддаленого споживача, тому всі споживачі, що знаходяться ближче до джерела теплової енергії отримують теплоносій з надлишковим тиском. На близько розташованих від ТЕЦ і котелень теплових пунктах перепад тисків набагато більше робочого (рис. 1.1). Виникає необхідність спрацьовувати надлишковий тиск. Для цього зазвичай використовують такі способи:

- зменшення магістрального тиску за рахунок установки ряду підвищувальних станцій, що розташовуються на протязі всієї теплової мережі.

Це складна циркуляційна система з основною насосною установкою на ТЕЦ і насосними підстанціями на подаючому і зворотному трубопроводах, а також численними відгалуженнями від магістралей, по яких мережева вода приходить з подаючого в зворотний трубопровід через теплоспоживаючі установки.

- дроселювання надлишкового тиску шляхом установки на вході в тепловий пункт запірно-регулюючого клапана, який розсіює надлишкову енергію, що призводить до безповоротної втрати великої кількості енергії.

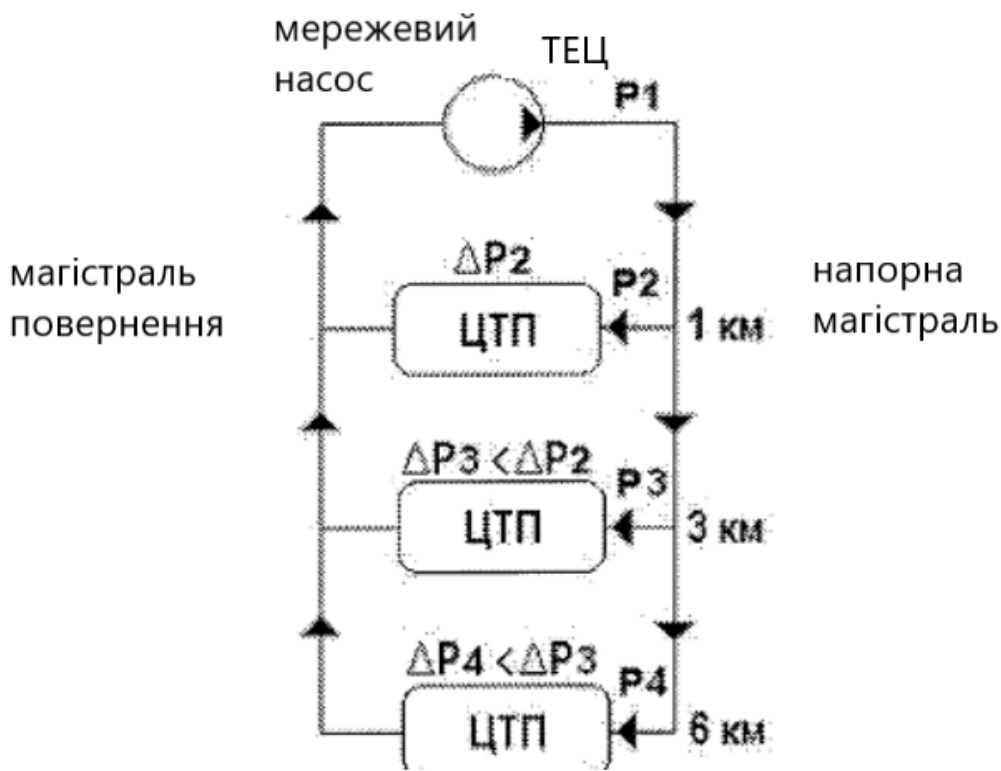


Рисунок 1.1. Пояснення гідролічної розбалансованості.

В якості прикладу втрати тиску при дроселюванні потоків теплоносія на 17-ти характерних теплових пунктах вздовж магістральної лінії можуть складати десятки тисяч гривень на рік.. Очевидно, значна частина енергії, витраченої на створення магістрального перепаду тиску, є витраченою і становить від 50 до 75%.

1.2. Система рекуперації надлишкового тиску як вирішення проблеми дроселювання

Для вирішення проблеми гідравлічної розбалансованості систем теплопостачання було запропоновано використовувати систему рекуперації надлишкового магістрального тиску рідин – СРТ (рис.1.2.).

В системі теплопостачання міста Києва налічується понад 1000 теплових пунктів, 95% з яких отримують теплоносій з надлишковим тиском. Сумарні річні втрати енергії при дроселюванні оцінюються в 250-300 тисяч МВт-год, що в перерахунку на вартість електроенергії становить від 670 до 800 тис. грн. на рік [4].

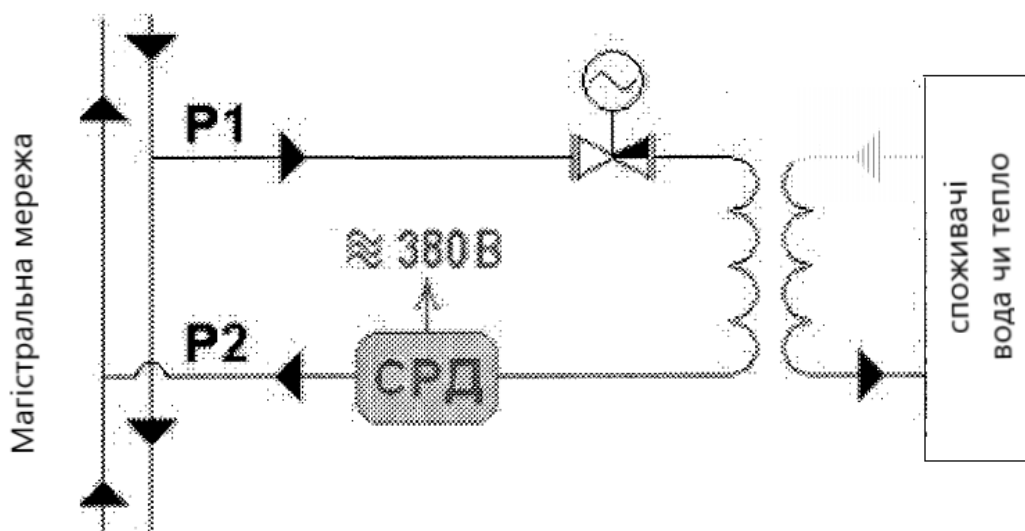


Рисунок 1.2. Система рекуперації надлишкового тиску.

З конструктивної точки зору пропонована СРТ являє собою гідроагрегат (ГА) з системою автоматичного управління (САУ). ГА виконується на базі (модифікованого типового динамічного) насоса, здатного працювати в турбінному режимі, і електродвигуна, здатного працювати в режимі електричного генератора (рис. 1.3).

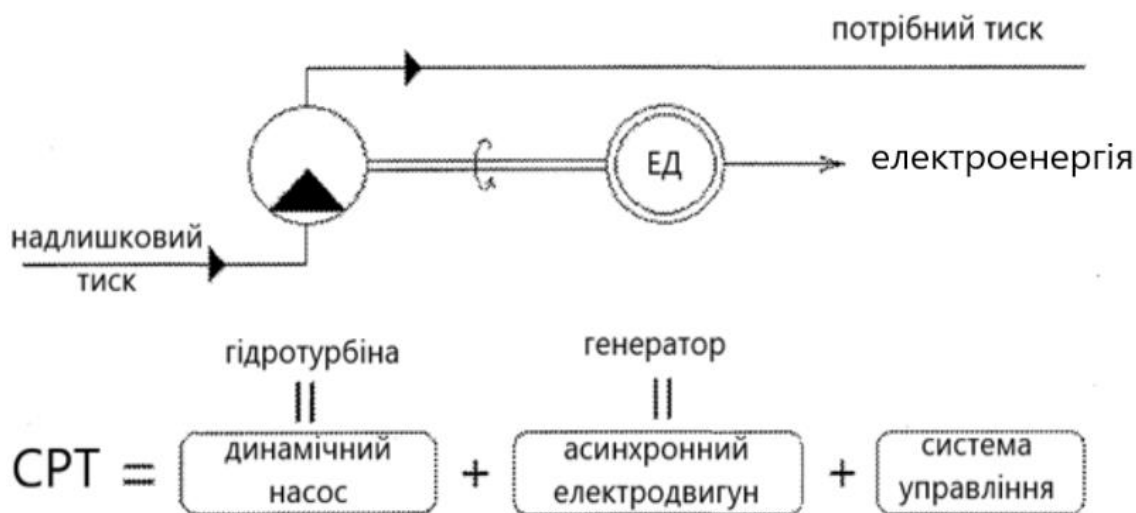


Рисунок 1.3. Структурна схема СРТ.

Система, виконуючи функції демпферуючого пристрою, забезпечує зниження тиску до необхідної величини. Зменшення перепаду тисків на органах, що регулюють витрату теплоносія в центральних теплових пунктах (ЦТП), покращує умови їх роботи, сприяючи продовженню їх ресурсу. Весь надлишковий перепад тиску за допомогою гідроагрегату перетворюється в механічну енергію. Ця енергія, в свою чергу, перетворюється в електричну за допомогою електричного (асинхронного або іншого) генератора.

В результаті виробляється електроенергія, на виробництво якої не витрачається жоден з видів палива, а значить, не погіршується екологія. Вироблена таким чином електрична енергія або повертається в централізовану мережу, або використовується на власні потреби теплового пункту: аварійне освітлення; аварійне теплопостачання; освітлення під'їздів, якщо тепловий пункт розташовується в підвалі житлового будинку; часткова компенсація енерговитрат ЦТП. Крім того виділену енергію можна запасати в акумуляторах і використовувати при необхідності в подальшому. Необхідність може виникнути в разі відключення з аварійних або інших причин насоса створення тиску в теплоцентралі (циркуляційного насоса). У разі відключення насоса припиняється рух (циркуляція) рідини в трубах, що в холодну пору року може призвести до несприятливих наслідків (розморожування системи).

Відомо, що ремонт замерзлих систем опалення житлового будинку дуже дорогий і оцінюється сотнями тисяч гривень. При вартості однієї батареї в 2000 гривень, заміна радіаторів в 5-ти поверховому 30 квартирному будинку обійдеться більш ніж в 400 тис. гривень. Запобігти цим наслідкам можна за допомогою автономної системи створення тиску, яка може бути побудована на базі акумулятора, що заряджається від генератора в нормальному режимі роботи теплоцентралі, і електронасоса, що створює тиск в разі відключення основного насоса і споживаючого для цього електричну енергію від акумулятора.

1.3. Енергозбереження і системи рекуперації енергії

Поряд із завданням ефективності транспортування, розподілу та споживання теплової енергії, система рекуперації тиску вирішує ще одну не менш важливу і актуальну задачу: енергозбереження та енергоефективність.

Потенціал енергозбереження Києва оцінюється приблизно в 11 млн. т. у.п. на рік, тобто близько 1% від всього споживання первинної енергії в Україні. [7] Нерозумно при такому величезному потенціалі енергозбереження вирішувати проблему надійного забезпечення міста енергоресурсами тільки за рахунок збільшення виробництва енергії.

Але з цим пов'язані додаткові проблеми. По-перше, будівництво енергетичних об'єктів - процес дуже тривалий, по-друге, в умовах вкрай щільної забудови міста цей процес вимагає складних технічних рішень і колосальних витрат. Знайти вільні майданчики під будівництво енергетичних об'єктів практично неможливо. Тим більше що потрібне не тільки місце для розміщення станцій, а й забезпечення санітарно-захисної зони навколо станції, радіусом 200-300 метрів.

Але вжитих заходів виявляється недостатньо. Система рекуперації тиску дозволяє надлишкову енергію, витрачену на подолання гідравлічного опору магістральних трубопроводів при транспортуванні робочих і технологічних

рідин (водні середовища, вуглеводні та ін.) не розсіювати в повітря, а відбирати з метою повернення її у вигляді електроенергії в мережу.

1.4. Досвід використання рекупереції в системах з надлишковим тиском

Слід зазначити, що подібна система може використовуватися не тільки в тепло- і водопостачанні, а й при інших технологічних процесах, таких як транспортування вуглеводнів в зонах, де є локальний перепад тиску пов'язаний зі зміною рельєфу (горби, гори, западини) або в системах стоків і скидів.

Ідея використовувати надлишковий тиск не нова. Відомо використання детандер-генераторів в сфері транспортування природного газу високого тиску магістральних газопроводів.

НЛП "Газелектроприлад" (м.Харків) пропонує своє автономне джерело електроенергії, що працює за рахунок використання перепаду тиску, редукованого на газорозподільних станціях газу, але розрахований на набагато меншу потужність.



Рисунок 1.4. Комплектна мікроГЕС, яка може бути використана для СРТ

Установка являє собою турбогенератор потужністю від 1 до 30 кВт, що встановлюється на трубопроводі, що має модульну конструкцію, яку можна модифікувати відповідно до умов. Вироблена електроенергія може використовуватися для катодного захисту трубопроводів і металоконструкцій, при цьому установка комплектується генератором постійного струму з напругою 24 В або 48 В. Також можлива вироблення змінного струму з частотою 50 Гц і з напругою 220 В або 380 В для використання в системах автоматики газорозподільної станції, а також для електропостачання будиночка операторів.

За принципом роботи пропонувану в роботі систему рекуперації тиску можна порівняти з мікроГЕС. Близьким аналогом системи рекуперації тиску можна вважати випускаються серійно вітчизняними та іноземними розробниками мікроГЕС. Існують в серійній версії мікроГЕС потужністю від 3 до 100 кВт і гідроагрегатів для малих ГЕС одиничною потужністю до 5000 кВт.

Висновки до розділу 1

В пропонуваній в кваліфікаційній роботі системі рекуперації тиску основними компонентами є турбіна (перетворювач механічної енергії) і електричний генератор (перетворювач електричної енергії). Вибір відповідного генератора є складним завданням.

Вибір відповідного генератора здійснюється в наступній главі справжньої роботи.

РОЗДІЛ 2.

ВИБІР ТИПУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ І СХЕМИ, ПРИДАТНОЇ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СРТ

2.1 Вибір типу електричної машини

Швидкість обертання ротора генератора визначається швидкістю обертання приводної турбіни, а вона, в свою чергу, залежить від витрати теплоносія.

Виходячи з наявного витрати теплоносія і перепаду тиску, синхронна швидкість обертання генератора визначається з ряду синхронних швидкостей 1500, 1000, 750 об/хв.

СРТ залежно від наявної гідравлічної потужності може виробляти від одиниць до декількох десятків кВт, застосовуваний електричний генератор повинен бути розрахований на відповідну потужність (від 1 до 50 кВт).

У складі системи рекуперації тиску можна виділити як окремий блок модуль перетворення енергії МПЕ (механічної в електричну), до складу якого крім електрогенератора входять в залежності від виконання різні перетворювальні пристрої: випрямляч, інвертор, блок збудження, джерело реактивної потужності і т.п..

Електричний генератор, застосовуваний в системі рекуперації надлишкового магістрального тиску повинен відповідати кільком вимогам.

Модуль перетворення енергії (і відповідно генератор) повинен мати можливість працювати однаково добре в режимах паралельно з мережею і на автономне навантаження.

Він повинен мати на виході стабільні параметри (напруга, частота) при змінних в широких межах вхідних параметрах (частота обертання, момент на валу, потужність).

Генератор повинен видавати максимальну потужність в широкому діапазоні зміни швидкостей обертання приводної турбіни.

Генератор повинен відрізнятися надійністю, щоб мати можливість тривало автономно працювати в складних умовах експлуатації.

Генератор повинен мати систему автоматичного управління режимами роботи для експлуатації без участі оператора.

Генератор разом з системою управління повинен володіти, по можливості, найменшою вартістю.

Також треба врахувати, що в існуючій системі рекуперації тиску використовується нерегульована приводна турбіна.

В якості електричного генератора в системі рекуперації тиску можуть застосовуватися електричні машини основних типів: асинхронна, синхронна, машина постійного струму і деякі варіанти спеціальних машин.

2.1.1 Асинхронна машина

Асинхронні машини пропонувалися як генератори в багатьох публікаціях і є домінуючим типом генераторів, що випускаються для подібного роду установок. Переваги цих машин включають можливість роботи при змінній швидкості, яка забезпечує гнучкість в роботі з нерегульованою приводної турбіною, відносну простоту і надійність конструкції, високу статичну і динамічну стійкість, хороші демпфуючі властивості, паралельну роботу з мережею.

Включення асинхронного генератора на паралельну роботу з мережею вкрай просто і здійснюється наступним чином. Попередньо перевіряють збіг напрямку обертання первинного двигуна з напрямком обертання поля статора генератора (однакове чергування фаз), потім, прагнучи по можливості зменшити кидок струму, доводять асинхронний генератор до синхронної або дещо вище синхронної швидкості і включають його в мережу без виконання будь-яких попередніх умов. Величина ЕРС в обмотці статора і її частота визначаються напругою U і частотою мережі f і встановлюється при включенні асинхронного генератора в мережу автоматично. Слід звернути особливу увагу на те, що, оскільки генератор збуджується від мережі, до якої

він підключений, частота віддаваного асинхронним генератором в мережу струму не залежить від його швидкості обертання.

Асинхронні машини діляться на дві основні категорії: машини з короткозамкненим ротором і машини з фазним ротором.

Можливість використання асинхронної машини з короткозамкненою обмоткою ротора в режимі генератора була обґрунтована ще на початку ХХ століття.

Для здійснення генераторного режиму роботи асинхронної машини її потрібно включити в мережу змінного струму і обертати за допомогою відповідного приводного двигуна (машина постійного струму, синхронна машина, тепловий або гідравлічний двигун) в бік обертання магнітного поля зі швидкістю n , що перевищує синхронну швидкість n_c . Ковзання машини $\wedge$ при цьому негативно. Необхідну для утворення обертового магнітного поля реактивну потужність асинхронний генератор споживає з мережі, тому повинен працювати паралельно з мережею змінного струму, до якої приєднані інші машини або установки (наприклад, синхронні генератори), здатні забезпечувати реактивним струмом асинхронні генератори та інших споживачів. Поряд з цим асинхронний генератор може працювати також в режимі самозбудження на окрему мережу, отримуючи реактивний струм збудження від конденсаторів, що підключаються до його затискачів.

Такі автономні асинхронні генератори (ААГ) при однакових електромагнітних навантаженнях, частоті обертання та інших рівних умовах мають масу (без пристроїв системи збудження) значно меншу маси синхронного генератора. Наприклад, в діапазоні зміни потужностей 5-100 кВт маса ААГ приблизно в 1,3-1,4 рази менша класичного синхронного генератора і в 2-3 рази менша маси безконтактного синхронного генератора (наприклад, індукторного). Однак широкому впровадженню ААГ довгий час перешкоджали значна маса і вартість конденсаторів збудження. В даний час ця проблема відійшла на другий план, оскільки в Україні створені високоефективні плівкові самовідновлюються конденсатори серії К78-17.

Питома маса конденсаторів цієї серії менше 30% маси конденсаторів попередньої серії. Наприклад, при частоті 50 Гц конденсатор серії K78-17 ємністю 35 мкФ з робочою напругою 500 В має питому масу 0,109 кг/квар. [8]

Останнім часом для самозбудження асинхронних генераторів стали застосовувати статичні джерела реактивної потужності з керованими напівпровідниковими вентилями (тиристорами). Асинхронні генератори з такими джерелами реактивної потужності наближаються за своєю ефективністю до синхронних генераторів. [9]

У 90-х роках минулого століття з'явилися досить надійні і потужні напівпровідникові силові перетворювачі, що дозволяють забезпечити стабілізацію амплітуди і частоти електрогенераторного агрегату з використанням асинхронного генератора з короткозамкненим ротором. Силовий перетворювач, необхідний для створення такого агрегату, повинен забезпечувати двонаправлене перетворення енергії, синусоїдальність вихідних струмів і напруг. [10]

Привабливість використання асинхронного генератора з короткозамкненим ротором в якості генератора змінного струму пояснюється перш за все простотою його конструкції, надійністю і більш низькою вартістю. Технічне обслуговування такого генератора обмежується практично тільки змазкою підшипників.

Однак, одними з недоліків асинхронного генератора з короткозамкненим ротором, що перешкоджають їх більш широкому застосуванню, є труднощі зі створення автоматичних регуляторів напруги. Багато авторів пропонують при використанні асинхронного генератора в якості джерела електроенергії перетворювати його вихідну напругу в постійну, а потім в змінну необхідної частоти і величини, тобто використовувати додатково статичний перетворювач частоти.

Для використання асинхронного генератора в якості джерела електроенергії в [10] була запропонована схема, представлена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 Схема електрогенераторного агрегату на базі асинхронного генератора з короткозамкненим ротором. АГ - асинхронний генератор з короткозамкненим ротором; Інв.Стаб. - інвертор-стабілізатор; С - блок конденсаторів; Вих.Інв. - вихідний інвертор; Ф - вихідний фільтр; ТР - силовий трансформатор.

Першою ланкою цієї структури є власне асинхронний генератор з короткозамкненим ротором. Інвертор-стабілізатор виконує дві функції: управляє збудженням генератора і перетворює змінну напругу генератора в постійну. Друга ланка цієї структури - перетворювач постійної напруги в вихідну трифазну напругу змінного струму. Ці ланки об'єднані між собою ланкою постійного струму, до складу якої входить батарея конденсаторів, що згладжують пульсацію струму інвертора І-С і грають роль накопичувача енергії.

Розроблена функціональна схема системи управління установки на базі асинхронного генератора представлена на рис. 2.2.

Використання накопичувача енергії у вигляді конденсаторів дозволяє істотно зменшити провал напруги генератора, що виникає при підключенні електричного навантаження (в експериментальному зразку провал напруги зменшився з 20% до 10%).

Органи управління асинхронною машиною включають потужний частотний інвертер, стаціонарний конденсатор, тиристорний контролер і статичний контролер для компенсації реактивної потужності. При

промислових частотах асинхронний генератор з короткозамкненою кліткою, по суті, є машиною з стійкою роботою. Але коли він з'єднаний з несиметричною трифазним навантаженням, в машині може статися перегрів і початися пульсації моменту.

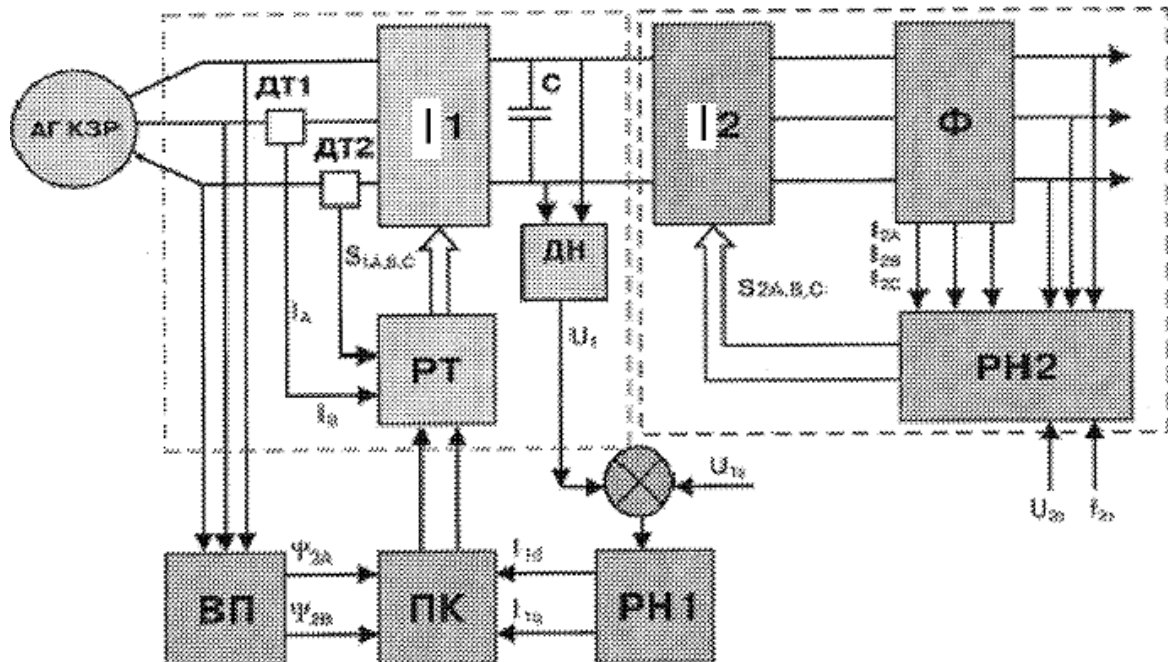


Рисунок 2.2 Функціональна схема системи управління установки на базі асинхронного генератора. І1 - інвертор; І2 - вихідний інвертор; Ф - вихідний фільтр; С - конденсаторна батарея; ДТ1, ДТ2 - датчики струму фаз АМ; ДН - датчик напруги; РТ - регулятор струму; РН1, РН2 - регулятори напруги; ВП - обчислювач потоку; ПК - перетворювач координат.

Застосування асинхронної машини з фазним ротором (АГ ФР) дозволяє за допомогою електронного перетворювача частоти отримувати стабілізовані значення вихідних параметрів (напруга і частоту) при змінній швидкості обертання приводного двигуна.

В такій системі обмотка статора генератора безпосередньо підключається до електричної мережі, а обмотка ротора через контактні кільця підключається до електронного перетворювача частоти (ПЧ), який в свій чергу підключається до мережі. Наявність перетворювачів в системі дає можливість роботи на різних швидкостях. ПЧ регулює електричну частоту струму в роторі.

Основним перевагою системи є те, що потужність перетворювача становить лише близько 30% від номінальної потужності установки. Таким чином, перетворювач має менші розміри, він дешевше і має менші втрати в порівнянні з перетворювачем, який регулює повну потужність, тобто потужність якого дорівнює повній потужності установки. Звідси визначається робочий діапазон ковзань генератора. Ковзання змінюється в межах $\pm 30\%$ від номінального значення. Статор завжди споживає енергію з мережі. У той час як ланцюг ротора здатна як споживати енергію з мережі, так і віддавати енергію в мережу.

Для збудження генератора може використовуватися синхронна машина, встановлена з ним на одному валу. Перетворення струму синхронної машини, що виконує роль синхронного збудника в струм частоти ковзання здійснюється за допомогою статичного перетворювача частоти. Потужність синхронної машини повинна бути такою, щоб вироблена реактивна потужність була достатньою, щоб забезпечити цією потужністю не тільки генератор, але і навантаження. Наявність додаткової машини робить всю систему більш дорогою.

Незважаючи на те, що використання фазного ротора дає вищевикладені переваги, все одно такий тип ротора є дуже дорогим в порівнянні з короткозамкненим ротором. Також ізольована обмотка ротора може піддаватися шкідливому впливу, що виникає в результаті обертання і вібрації, що може зменшити термін служби генератора.

Підведемо підсумок щодо можливості використання асинхронної машини в якості генератора:

Якщо ротор звичайного асинхронного двигуна, в тому числі і короткозамкненого, приєднаного до електричної мережі, обертати зі швидкістю вище синхронної, то така машина буде генерувати активну потужність. Намагнічуючий струм, необхідний для створення магнітного поля в синхронному генераторі, повинен надходити з мережі. Асинхронний генератор, крім надзвичайно простої конструкції, має ряд експлуатаційних переваг:

а) асинхронний генератор не може випасти з синхронізму і тим самим розладнати роботу системи;

б) асинхронний генератор не боїться коротких замикань, так як при цьому він втрачає збудження;

в) асинхронний генератор не потребує синхронізації, тим самим допускаючи застосування його на малих автоматичних електростанціях без обслуговуючого персоналу, що працюють в енергосистемах.

Недоліками асинхронного генератора є:

а) необхідність отримання намагнічуючого струму від мережі, що ускладнює автономну роботу електростанцій з асинхронними генераторами;

б) залежність напруги на затисках генератора від навантаження. При автономній роботі асинхронного генератора (без зв'язку з іншими синхронними машинами) намагнічуючий струм може бути отриманий від батареї статичних конденсаторів, підключених до вивідних затискачів генератора. Початкова напруга в асинхронному генераторі створюється за рахунок залишкового магнетизму в залозі машини.

Зміна коефіцієнта потужності і величини навантаження споживачі викликає різкі зміни напруги на затисках асинхронного генератора. Існуючі методи регулювання напруги знижують коливання напруги, однак воно все ж залишається непостійним, залежить від коефіцієнта потужності споживача i , в більшості випадків, помітно зменшується із збільшенням навантаження. Всі ці методи ускладнюють і здорожують установку

2.1.2 Синхронна машина

На базі синхронної машини невеликої потужності зазвичай виконуються дизель-електричні станції (ДЕС), що застосовуються в якості джерела електричної енергії в автономних системах електропостачання.

В такій схемі існує дві системи автоматичного управління: система автоматичного управління частотою обертання дизеля і система автоматичного

управління напругою генератора. Перша - для стабілізації частоти обертання дизеля, друга - для стабілізації напруги генератора.

Ротор генератора приводиться в обертання приводним двигуном. Частота напруги генератора пропорційна частоті обертання ротора, а значення напруги пропорційно струму збудження генератора (СГ). Регулятор частоти обертання визначає частоту вихідної напруги i , впливаючи на органи управління приводного двигуна, підтримує постійною частоту обертання вала приводного двигуна, забезпечуючи тим самим стабілізацію частоти вихідної напруги у всіх режимах роботи. Регулятор напруги шляхом впливу на струм збудження генератора підтримує значення вихідної напруги близьким до заданого при всіх допустимих навантаженнях. Завдяки відносній простоті подібні установки знайшли широке застосування як в Україні, так і за кордоном.

Однак подібна схема (система) має два принципових недоліки:

- необхідність роботи при постійній частоті обертання, необхідної для стабілізації частоти вихідної напруги;
- при різких змінах електричного навантаження в початковий момент відбувається значна зміна напруги генератора (до 20% від номінального), яке не може бути парирувано системою автоматичного управління напругою генератора. Це пов'язано з внутрішніми характеристиками генератора і практично не усувається автоматичною системою.

Синхронна машина, застосовувана наприклад на вітрогенераторах, підключається до мережі через перетворювач, який має таку ж потужність, як і генератор. Перетворювач дає можливість роботи при будь-якій швидкості обертання.

Головна перевага синхронного генератора з електромагнітним збудженням - це можливість регулювати струм збудження i , отже, регулювати напругу холостого ходу. Якщо синхронний генератор підключається до мережі

через електронний перетворювач частоти, то можливість управління напругою холостого ходу не є важливою перевагою.

Однією з найбільш складних проблем, що виникають при застосуванні генераторів з висококоерцитивними постійними магнітами, є регулювання і стабілізація напруги, для чого застосовуються спеціальні методи, властиві тільки цього класу електричних машин.

Схема електрогенераторної установки на базі синхронного генератора з постійними магнітами (ЕГА СГПМ) приведена на рис. 2.4. Першою ланкою цієї схеми є власне генератор і керуючий їм інвертор.

За подібними схемами виготовляють електроагрегати багато зарубіжні виробники, в тому числі французька фірма SDMO і компанія Newage AVK SEG (Stamford, США).

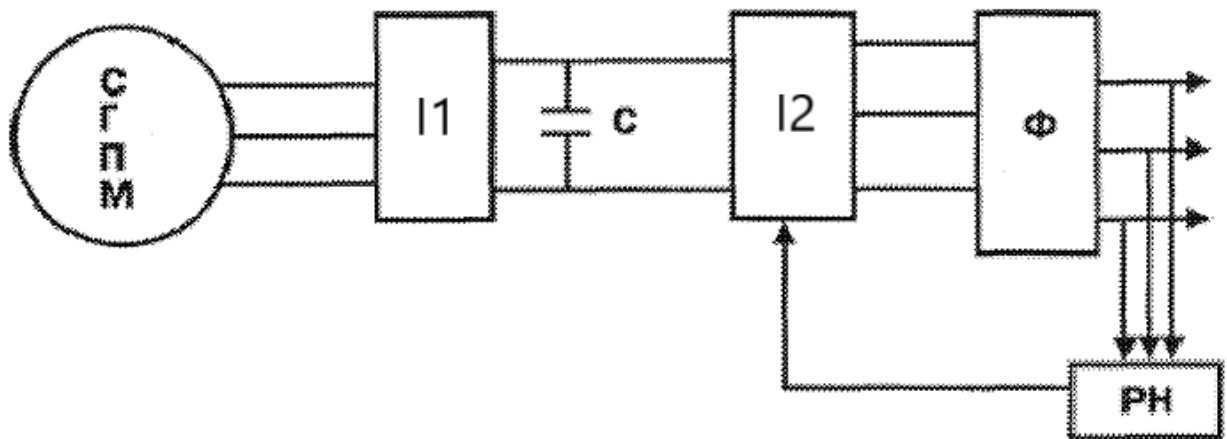


Рисунок 2.3. Схема електрогенераторної установки з синхронним генератором з постійними магнітами. СГПМ - синхронний генератор з постійними магнітами; І1 - інвертор, що перетворює змінний струм в постійний; С - блок конденсаторів; І2 - вихідний інвертор, що перетворює постійний струм в змінний; Ф - вихідний фільтр; РН - регулятор напруги.

Аналіз застосування ЕГА з СГПМ показав наступне [10]:

1. Використання генератора з постійними магнітами значно зменшує вагу генератора - майже в два рази. Для орієнтування, генератори потужністю 5, 10 і 15 кВА мають масу 17, 23,5 і 27 кг відповідно.

Застосування приводу з високою частотою обертання (наприклад, 3000 об/хв) і генератора з високою частотою напруги (наприклад, $f = 400$ Гц при частоті обертання ротора 3000 об/хв) дозволяє створити електроагрегат з кращими масогабаритними характеристиками в порівнянні з електроагрегатом, побудованим за традиційною схемою.

2. Застосування електронного блоку дозволяє поліпшити характеристики регулятора напруги (точність регулювання, характеристики перехідного процесу та ін.).

До очевидних переваг синхронного генератора над асинхронним можна віднести: генератор не споживає з мережі реактивної потужності; відносно високий ККД; якісне вихідна напруга.

До недоліків синхронного генератора можна віднести: необхідність синхронізації при включенні в мережу; наявність джерела живлення для збудження машини.

2.1.3 Вентильно-індукторна машина

Вентильно-індукторна машина відноситься до класу синхронних реактивних машин з вентильним управлінням і являє собою сукупність електромеханічного перетворювача - індукторної машини і електронного блоку управління. Статор і ротор індукторної машини - зубчасті з шихтованої електротехнічної сталі. Обмотка статора виконується у вигляді зосереджених котушок, що забезпечує високу технологічність їх виготовлення. Ротор не має обмотки, що підвищує надійність і зменшує вартість машини. Принцип дії індукторної машини заснований на реактивному взаємодії зубців статора і ротора. Число зубців статора і ротора різне. У генераторному режимі збудження подається в момент узгодженого положення зубців статора і ротора, за яким слідує відрізок часу генерування ЕРС в фазах (в інших котушках статора).

Індукторні генератори можуть виконуватися однойменно- і різнойменнополюсними, одно- і двостороннім збудженням. У

однойменнополюсних індукторних машинах до якоря примикають полюси тільки однієї полярності, в різнойменнополюсній - різної полярності. Однак і для такої конструкції машини радіальна індукція в кожній точці робочого повітряного зазору зберігає свій напрямок незмінним.

При одному і тому ж значенні ЕРС якірної обмотки вентильно-індукторного генератора має більше число витків, ніж якірної обмотки класичного синхронного генератора. При однаковій потужності індукторні генератори мають більш розвинений (об'ємний) магнітопровід і більшу масу, ніж машини зі знакоперемінним потоком.

2.1.4 Машина постійного струму

До істотних недоліків генераторів постійного струму відносяться великі маса і габарити, складність конструкції (наявність щітково-колекторного вузла), менша надійність в порівнянні з іншими типами електричних машин і висока вартість.

2.1.5. Плюси і мінуси використання різних генераторів представлені в таблиці (табл. 2.1)

Таблиця 2.1. Таблиця порівняння різних типів електричних машин для використання в якості генератора в системі рекуперації тиску.

Тип ЕМ	Робота // з мережею і автономно	Стабільні вихідні параметри	Надійність	Простота керування	Вартість
АГ КЗР	+	-	+	+	+
АГ ФР	+	-	-	-/+	-
СМ ел/маг збудж	+	-	-	-/+	-
СМ ПМ	-/+	-	+	+/-	-
МПС	-/+	-	-	-/+	-
ВІГ	+	+	+	-	-

До того ж при роботі генератора постійного паралельно з мережею, необхідний інвертор, що істотно збільшує вартість установки. У підсумку можна зробити висновок, що генератор постійного струму не є альтернативою ні асинхронному, ні синхронному, ні вентильно-індукторному генераторам при роботі в системі рекуперації енергії як при роботі на автономне навантаження, так і при роботі паралельно з мережею.

2.2 Аналіз різних структур системи рекуперації тиску

Принципово СРТ може працювати в двох режимах: паралельно з мережею і в автономному. У відповідності з цими режимами розглядаються чотири структурні схеми.

2.2.1 Робота генератора паралельно з мережею

Відповідними типами електричних машин для такого режиму роботи є машини змінного струму (асинхронна і синхронна з незалежним збудженням), що виробляють напругу з частотою мережі 50 Гц. Вибір типу збудження синхронної машини пояснюється відсутністю електричного зв'язку між якірною ланцюгом і ланцюгом збудження, що дає велику гнучкість (більший діапазон) регулювання.

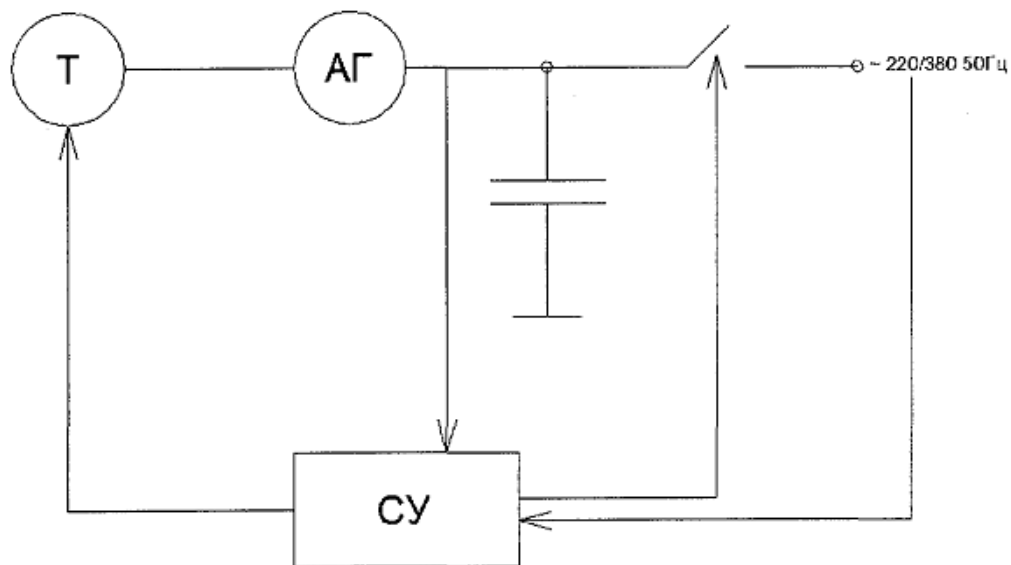


Рисунок 2.4. Асинхронний генератор в системі рекуперації тиску при роботі паралельно з мережею (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, АГ - асинхронний генератор).

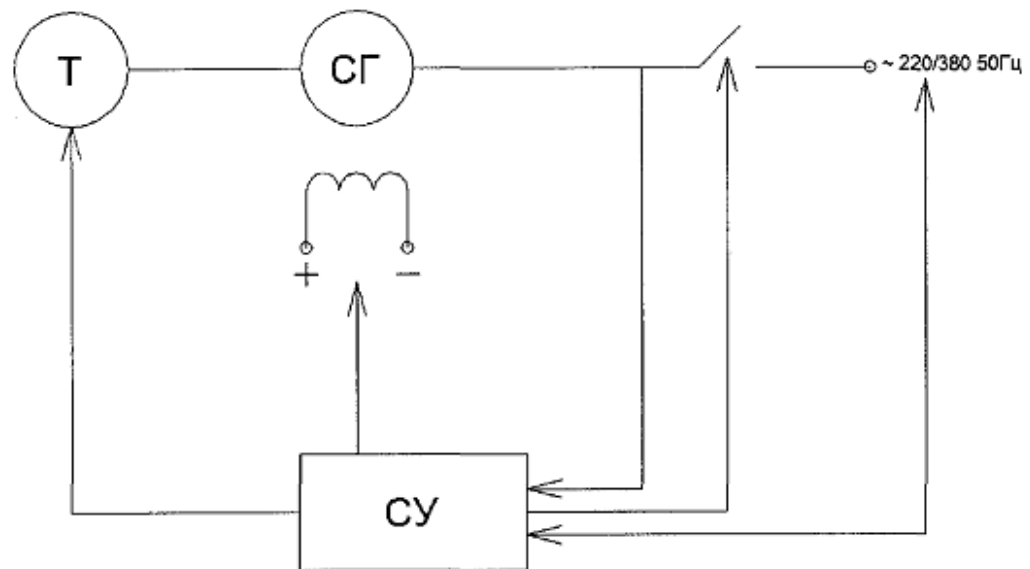


Рисунок 2.5. Синхронний генератор з незалежним збудженням в системі рекуперації тиску при роботі паралельно з мережею (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, СГ - синхронний генератор).

В режимі роботи паралельно з мережею, асинхронні генератори мають значні переваги над синхронними:

- більш низька вартість (асинхронний генератор 5,5 кВт - 7.000 гривень, синхронний генератор 5 кВА-17.000 гривень);
- більш висока надійність;
- простота включення генератора на мережу (відсутність необхідності синхронізації);
- простий алгоритм управління (системи в цілому);
- можливість регулювання швидкості обертання ступінчасто для багатошвидкісних АГ (можливість працювати на декількох синхронних швидкостях).

Однак поряд з цими достоїнствами, асинхронні генератори мають наступні недоліки:

- необхідність компенсації реактивної потужності;
- великий ударний струм включення на паралельну роботу. (див. рис. 2.6)

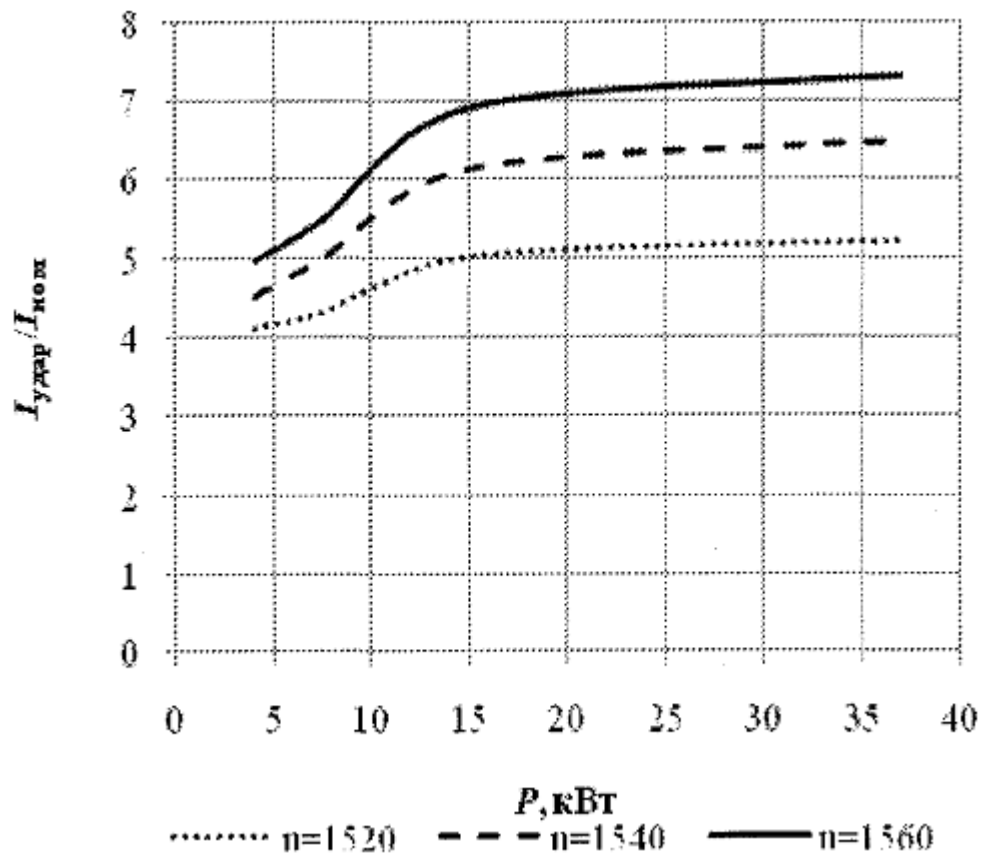


Рисунок 2.6 Залежність значення величини кидків струму від потужності генератора (P) для різних швидкостей включення.

Реактивна потужність в такій схемі може бути компенсована підключеними паралельно з генератором конденсаторами.

Значний кидок струму включення може вплинути на роботу установки як в гідравлічній, так і в електричній частині. У гідравлічній частині він може ініціювати значний ударний момент і пов'язані з цим збурення. В електричній частині великі пускові струми, що виникають при включенні генератора в мережу, викликають не тільки ударні навантаження на обмотки машини а також на апарати управління, контролю і захисту, але і ініціюють значні перешкоди в мережі, пов'язані з провалами напруги. Оскільки в даній установці мають місце часті включення, то ці кидки можуть позначитися на її надійній роботі.

Синхронні генератори можуть працювати з $\cos \phi = 4$ і не споживати при цьому реактивної потужності з мережі, а при роботі з перезбудженням навіть

віддавати реактивну потужність в мережу, однак, мають істотні недоліки: складність включення на паралельну роботу, погані масогабаритні показники і висока вартість.

Недоліком обох типів генераторів є робота на фіксованій частоті обертання (при використанні багатошвидкісного АГ - робота на декількох фіксованих частотах).

2.2.2 Робота генератора в автономному режимі

Асинхронна машина в автономному режимі роботи отримує збудження від батареї статичних конденсаторів або від статичних джерел реактивної потужності. Однак така система має істотні недоліки: складність регулювання значення і частоти вихідної напруги. Для регулювання частоти вихідної напруги необхідно змінювати потужність турбіни (впливати на запірно-регулюючу арматуру) в залежності від навантаження. Для регулювання значення вихідної напруги в залежності від навантаження необхідно змінювати струм намагнічування шляхом використання складних схем регулювання. Підключення електричного навантаження супроводжується провалом напруги, глибина якого залежить від типу і потужності навантаження.

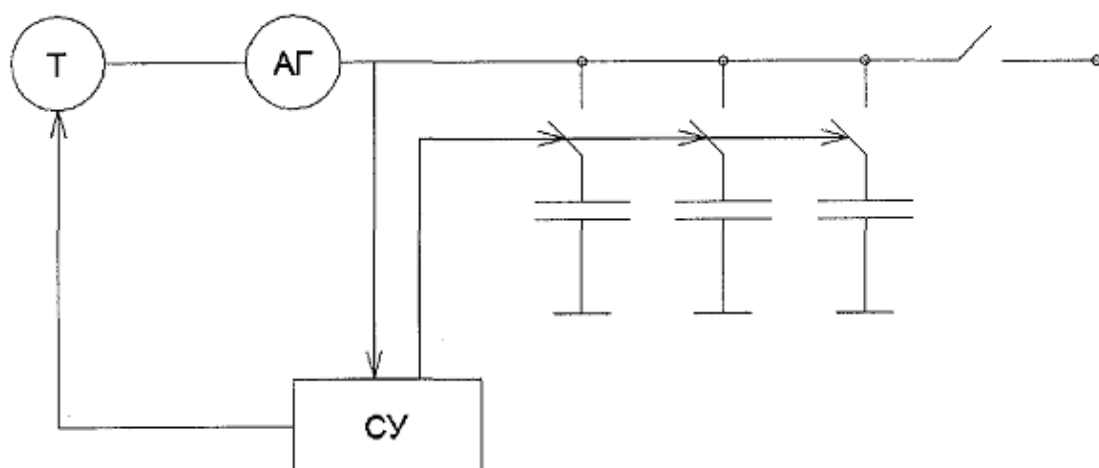


Рисунок 2.7. Асинхронний генератор в системі рекуперації тиску при роботі на автономне навантаження (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, АГ - асинхронний генератор).

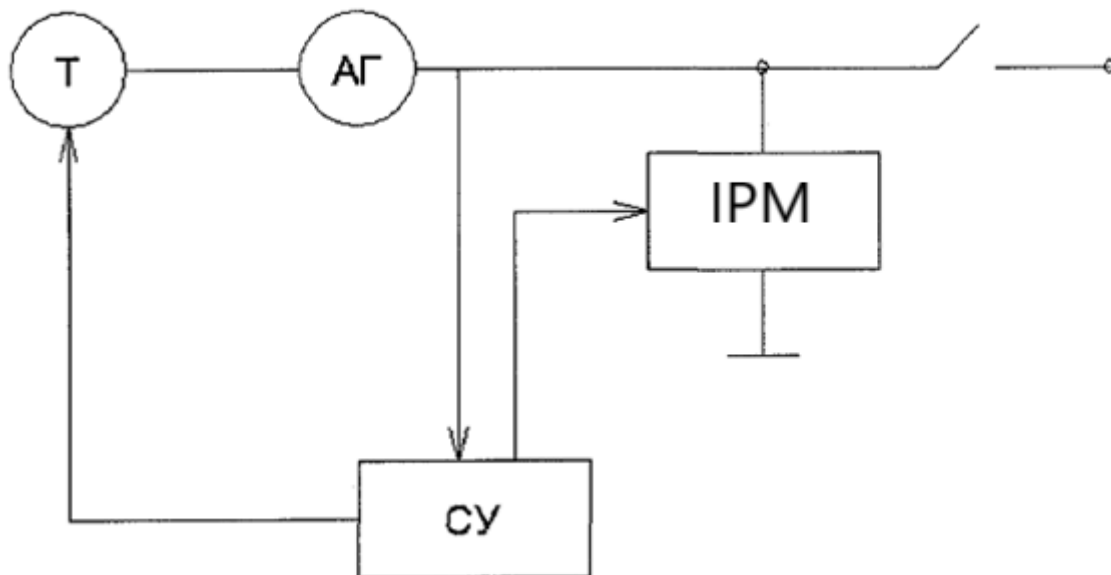


Рисунок 2.8. Асинхронний генератор в системі рекуперації тиску при роботі на автономне навантаження (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, АГ - асинхронний генератор, ІРМ - джерело реактивної потужності).

Синхронна машина в автономному режимі роботи також потребує постійної підтримки швидкості обертання приводного двигуна для забезпечення постійності частоти вихідної напруги. За допомогою регулятора збудження можна регулювати значення вихідної напруги (як правило, синхронні генератори мають вбудовані системи регулювання збудження в залежності від навантаження). Синхронні генератори мають більш високу стабільність вихідної напруги, а також можуть видавати струм в 3-4 рази перевищує номінальний, тим самим, дозволяючи запускати в роботу обладнання з високими пусковими струмами.

Генератор постійного струму можна використовувати для зарядки акумуляторів для аварійного електроживлення. При цьому машина постійного струму має хороші регульовальні характеристики: напруга регулюється в широкому діапазоні. Однак генератори постійного струму мають істотні недоліки: складність конструкції (наявність щітково-колекторного вузла),

менша надійність у порівнянні з іншими типами електричних машин, висока вартість і обмеженість застосування.

2.2.3 Робота генератора на інвертор

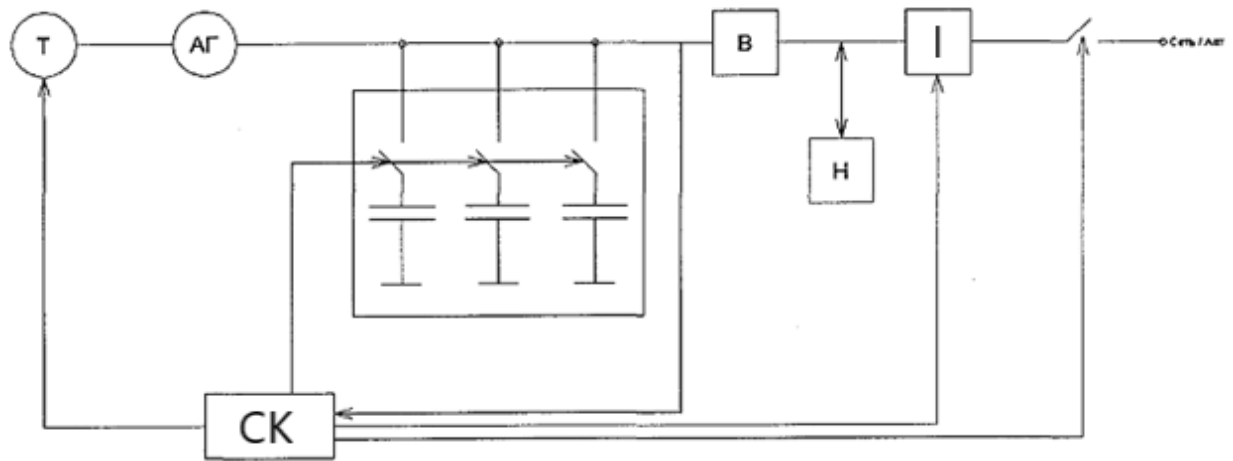


Рисунок 2.9. Синхронний генератор в системі рекуперації тиску при роботі на накопичувач і інвертор (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, СГ - синхронний генератор, В - випрямляч, Н - накопичувач, І - інвертор).

Використання інвертора (з ланкою постійного струму) в системі рекуперації тиску істотно розширює можливості використання електричних машин: можливість роботи на різних частотах обертання, можливість роботи як на автономне навантаження, так і на мережу.

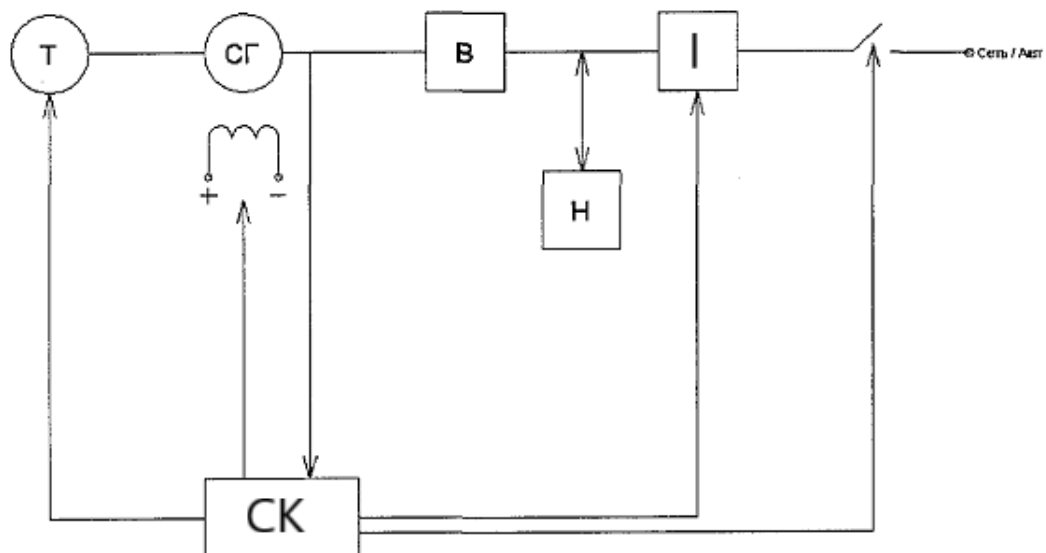


Рисунок 2.10. Асинхронний генератор в системі рекуперації тиску при роботі на накопичувач і інвертор (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, АГ - асинхронний генератор, В - випрямляч, Н - накопичувач, І - інвертор).

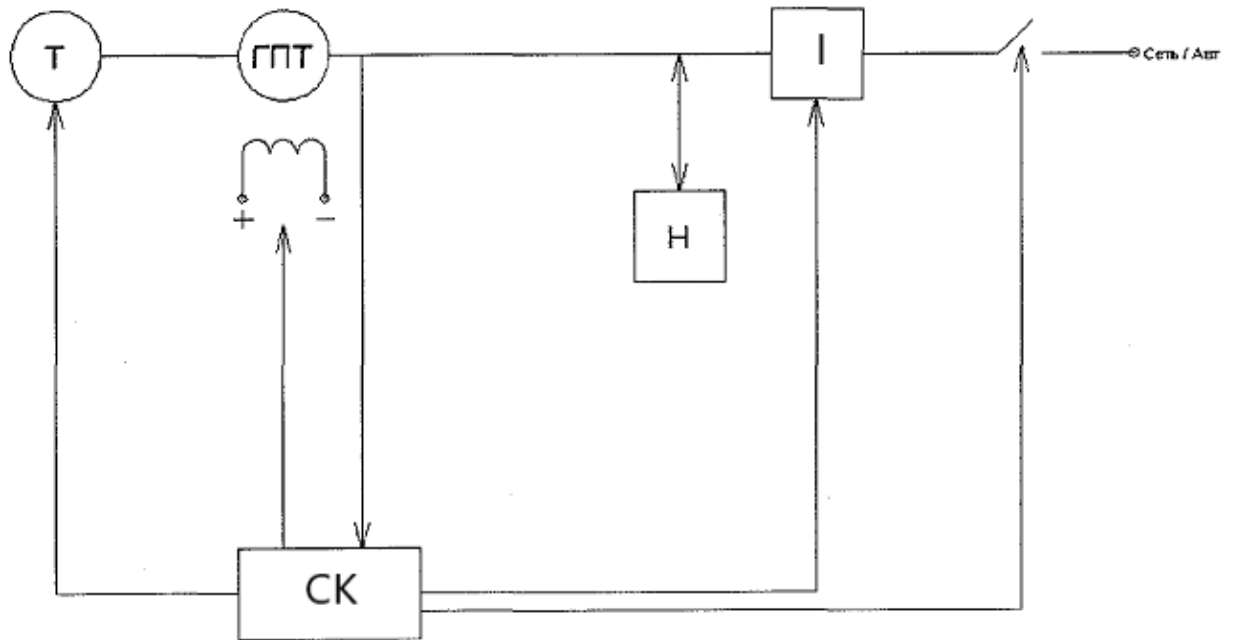


Рисунок 2.11. Генератор постійного струму в системі рекуперації тиску при роботі на накопичувач і інвертор (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, ГПС - генератор постійного струму, Н - накопичувач, І - інвертор).

Використання інвертора дозволяє застосовувати вентильно-індукторний генератор (ВІГ).

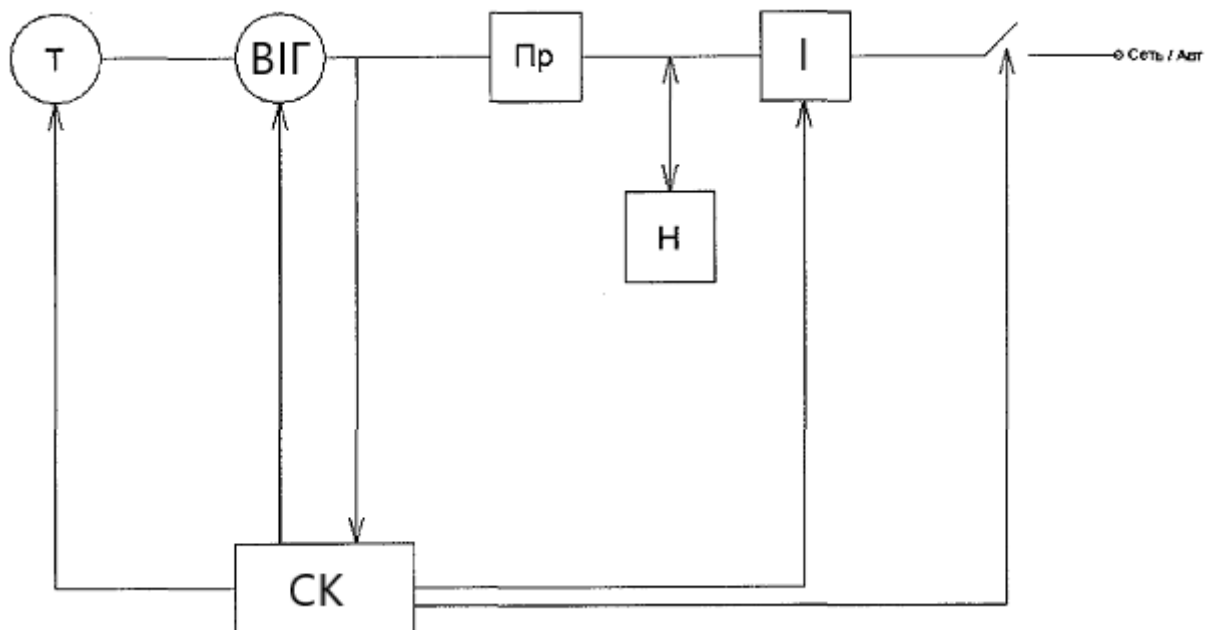


Рисунок 2.12. Генератор постійного струму в системі рекуперації тиску при роботі на накопичувач і інвертор (Т - гідравлічна турбіна, СУ - система управління, ВИГ - вентиляльно-індукторний генератор, Пр - перетворювач, Н - накопичувач, І - інвертор).

Вентиляльно-індукторний генератор має ряд переваг в порівнянні з класичними машинами.

- Має більш просту конструкції (ротор і статор виконаний у вигляді пакетів листового магнітом'якого матеріалу; відсутня обмотка на роторі; відсутній механічний комутатор (колектор, щітки); відсутні постійні магніти на роторі і/або статорі.

- вигідні масогабаритні показники;
- високий ККД (більше 90%) в широкому діапазоні частот обертання.

Застосування вентиляльно-індукторної машини є перспективним і може дозволити розширити діапазон робочих швидкостей установки.

Більш глибокого вивчення вимагають способи збудження вентиляльно-індукторних генераторів і розробка алгоритму управління.

Недоліком схем перетворення енергії з інвертором, що працює як на мережу, так і на автономне навантаження є те, що даний вид інвертора є складним і дорогим пристроєм. Для порівняння: вартість асинхронного генератора 5,5 кВт - 7000 гривень, синхронного генератора 5 кВА - 17.000 гривень, інвертора з ланкою постійного струму - 30.000 гривень.

Висновки по розділу 2

У будь-якому випадку при кінцевому виборі генератора потрібно керуватися тим, в якому режимі буде працювати СРТ основну частину часу, режимом роботи турбіни і терміном окупності установки в цілому. Це оптимізаційна задача.

Найбільш підходящою машиною по описаним раніше вимогам є працююча в генераторному режимі асинхронна машина.

РОЗДІЛ 3.

КОНСТРУКЦІЯ І ПРИНЦИП РОБОТИ СРТ

3.1 Конструкція СРТ

В енергогосподарстві України в даний час широко використовуються типові теплові пункти (ТП) двотрубних водяних систем централізованого теплопостачання з незалежною схемою приєднання місцевих систем опалення. Схема теплового пункту представлена на рис. 3.1. Теплова енергія з первинного контуру 5 через теплообмінник 3 передається у вторинний контур теплопостачання, до якого підключені пристрої обігріву 1 і в якому встановлений елеватор 2. Циркуляція теплоносія у вторинному контурі здійснюється електронасосом 4. [11]

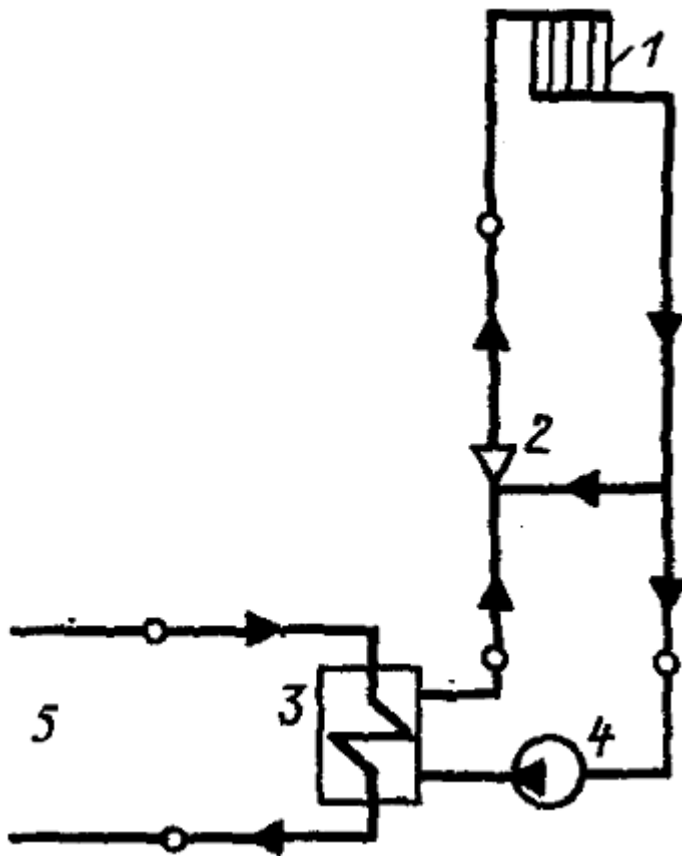


Рисунок 3.1. Принципова схема теплового пункту з незалежною схемою приєднання місцевих систем опалення.

Як вже зазначалося, характерною особливістю водяних систем централізованого теплопостачання є значна протяжність магістральних трубопроводів, що доставляють теплоносії споживачам.

Для подолання великого гідравлічного опору магістралі і гарантованої доставки теплоносія найбільш віддаленим споживачам доводиться створювати значний тиск на вході в магістраль. В результаті більшість споживачів, крім самих віддалених від теплової станції, отримують теплоносії під надлишковим для роботи ТП тиском, яке змушене дроселюється регулюючим клапаном. Таким чином у розглянутих ТП енергія надлишкового тиску теплоносія при дроселюванні потоку безповоротно втрачається на регулюючих клапанах. До того ж такі ТП не володіють достатньою надійністю, тому що при аварійному відключенні електроживлення ні основний, ні резервний насоси не можуть забезпечити циркуляцію теплоносія в системі опалення.

ТП з незалежним приєднанням системи опалення до двотрубною системи централізованого теплопостачання, схема якого показана на рис. 3.2, включає в себе послідовно розташовані по потоку теплоносія вхідну засувку 1, прямий трубопровід 2, регулюючий клапан 3, теплообмінний апарат 4, зворотний трубопровід 5 і вихідну засувку 6, а також приєднаний через теплообмінний апарат 4 контур системи опалення з двома циркуляційними електронасосами 7. На рис. 3.2 також показана епюра тисків в магістралях ТП. Для нормальної роботи ТП потрібен номінальний перепад тисків $\Delta P_{ном} < 0,13 \dots 0,15$ МПа на лінії; регулюючий клапан 3 - теплообмінний апарат 4. Якщо перепад тисків між прямою і зворотною магістралями тепломережі значно більше зазначеного значення, то на регулюючому клапані 3 утворюється надлишковий перепад тисків $\Delta P_{надл}$. Надлишковий перепад тисків в такій системі не використовується, що знижує її енергоефективність.

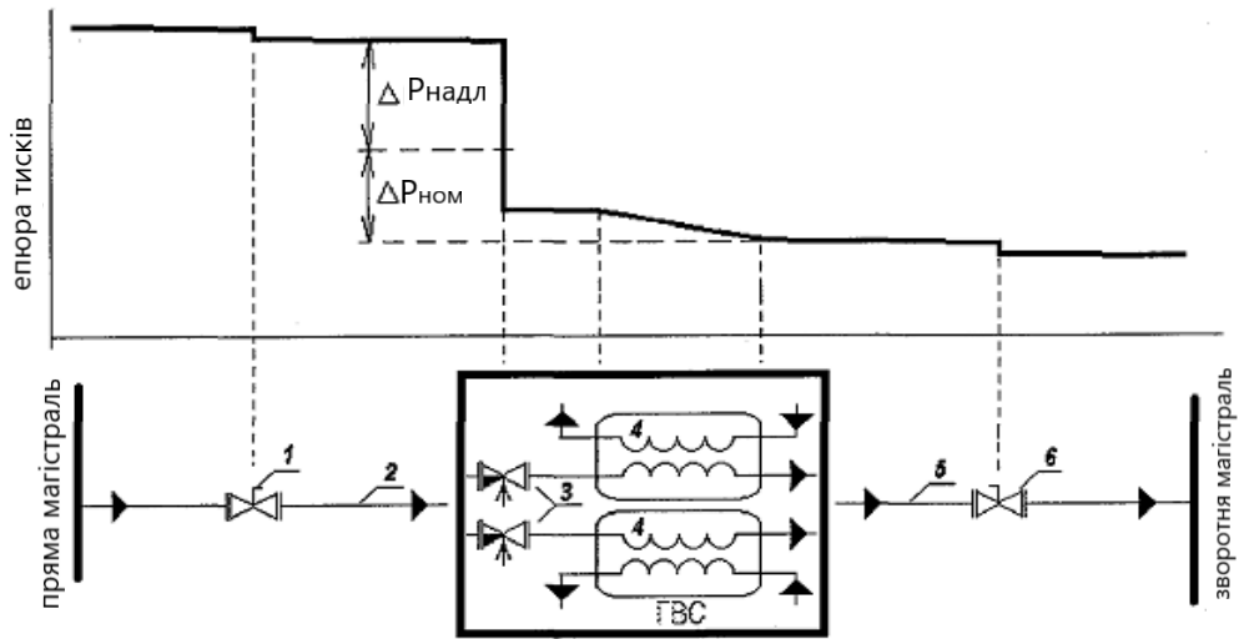


Рисунок 3.2 Перепад тиску на тепловій пункті без СРТ

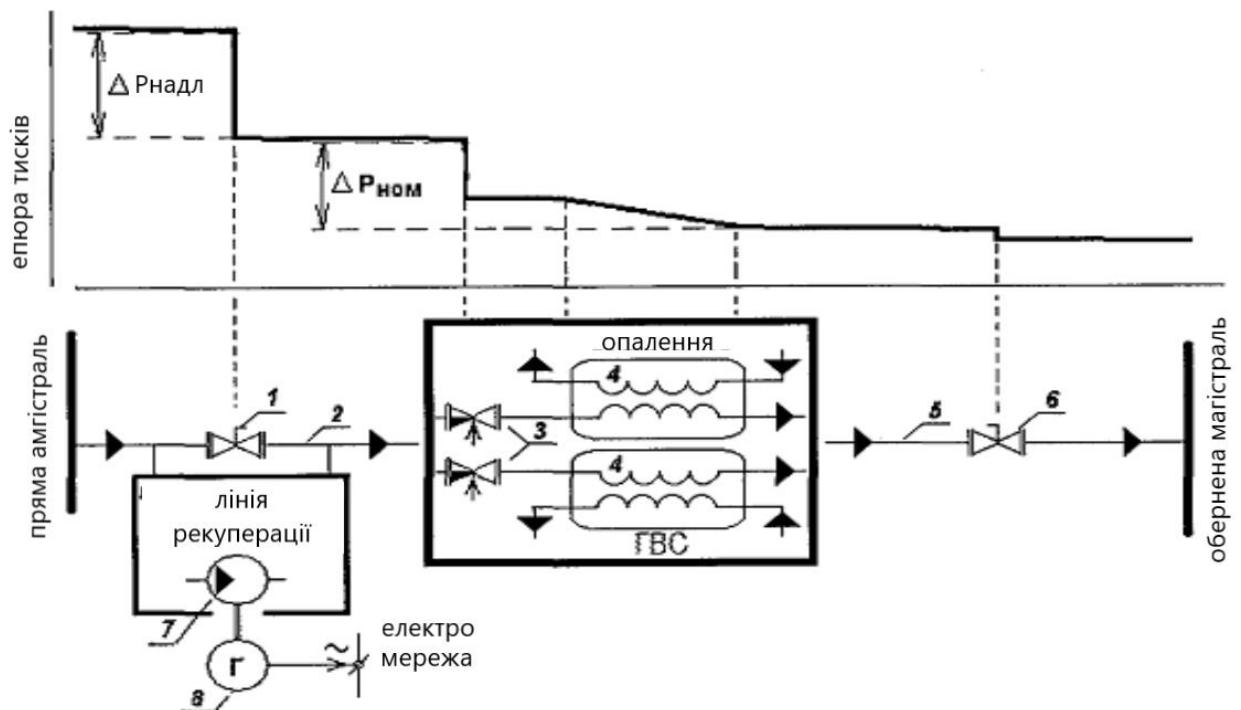


Рисунок 3.3. Перепад тиску на тепловій пункті після установки СРТ

ТП з незалежним приєднанням системи опалення до двотрубно́ї системи централізованого теплопостачання, схема якого показана на рис. 3.3, має більш високу енергоефективність в порівнянні з розглянутим раніше, тому що в ньому надлишковий перепад тисків $\Delta P_{\text{надл}}$ (надлишкова гідравлічна енергія)

в лінії перепуску тиску (рекуперації) перетворюється в корисну електричну енергію за допомогою гідравлічної турбіни 8 (динамічного насоса, що працює в турбінному режимі), і генератора.

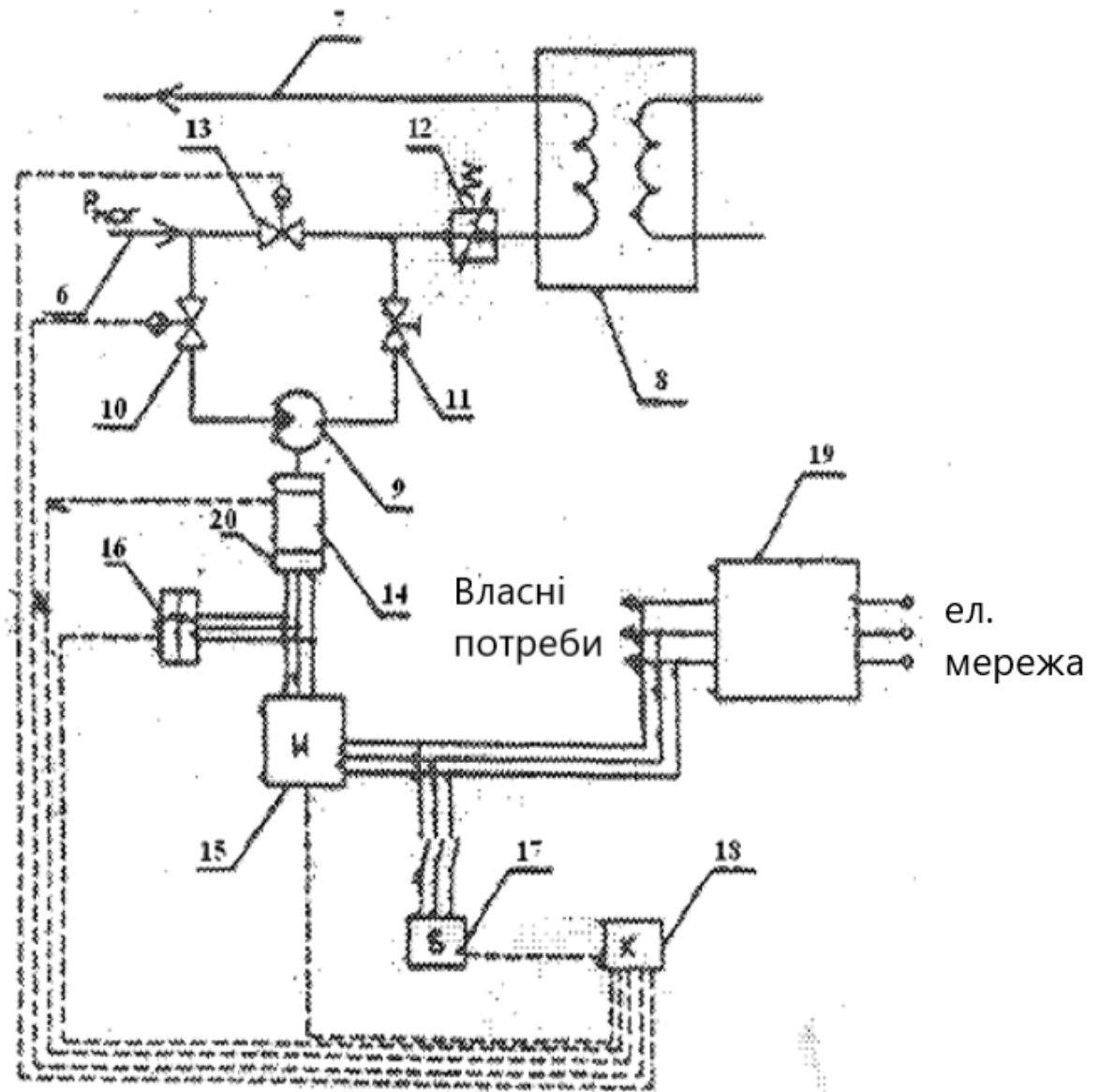


Рисунок 3.4. Система рекуперації тиску

Система рекуперації тиску (див. рис. 3.4) містить паралельно підключену до прямого 6 і зворотного 7 трубопроводів первинного контуру теплопостачання лінію перепуску тиску, що включає турбіну 9 і запірно-регулюючий клапан 12. Лінія перепуску тиску через вхідну 10 і вихідну 11 засувки встановлена послідовно запірно-регулюючого клапана 12 і паралельно вхідний магістральної засувці 13. Вона містить також асинхронний генератор

14, що приводиться в обертання турбіною 9 і з'єднаний через інвертор 15с мережею власних потреб за лічильником електроенергії 19. Паралельно генератора 14 включається блок конденсаторів 16 і баластне навантаження 17. Для управління системою рекуперації енергії передбачений контролер 18 (пунктирними лініями показані канали зв'язку контролера). На схемі показаний також теплообмінник 8. При наявності надлишкового тиску в первинній тепловій мережі генератор 14 виробляє електричну енергію, що надходить в мережу.

Система рекуперації тиску може бути реалізована за кількома типовими схемами (див. розділ 2). Відрізняються вони реалізацією пристрою електромеханічного перетворення енергії. Цей пристрій може бути реалізовано на основі електричних машин різних типів: це може бути асинхронний генератор, синхронний або генератор постійного струму.

Найбільш простим є варіант з асинхронним генератором, що працює паралельно з мережею, або, як називають його в спеціальній літературі, «ведений мережею» (рис. 3.3). Частота видаваного генератором напруги в такому випадку не залежить від швидкості обертання ротора, а є постійною і дорівнює частоті мережі. При включенні в мережу генератор з мережею синхронізувати не треба. Компенсація реактивної потужності здійснюється підключенням до виводів генератора батареї конденсаторів. У разі зникнення напруги мережі передбачена баластне навантаження, яка представляє собою блок додаткового опору (резистори).

Вироблена електроенергія може використовуватися на живлення автономного навантаження, тоді систему слід доповнити пристроєм стабілізації частоти, тому що частота видаваного напруги залежить від швидкості обертання ротора генератора: $f_2 = p \cdot n_2 / 60$, де n_2 - швидкість обертання вала, p - число пар полюсів. Стабілізувати частоту можна або регулюючи швидкість приводної турбіни, або за допомогою встановленого після генератора перетворювача частоти (інвертор) (рис. 3.4). Запасати отриману енергію можна в акумуляторній батареї. Для цього на виході

генератора встановлюється випрямний пристрій. Щоб узгодити рівень напруги, видаваного генератором, з рівнем напруги заряду акумулятора встановлюється понижуючий трансформатор.

Система тоді приймає вид, представлений на рис. 3.5.

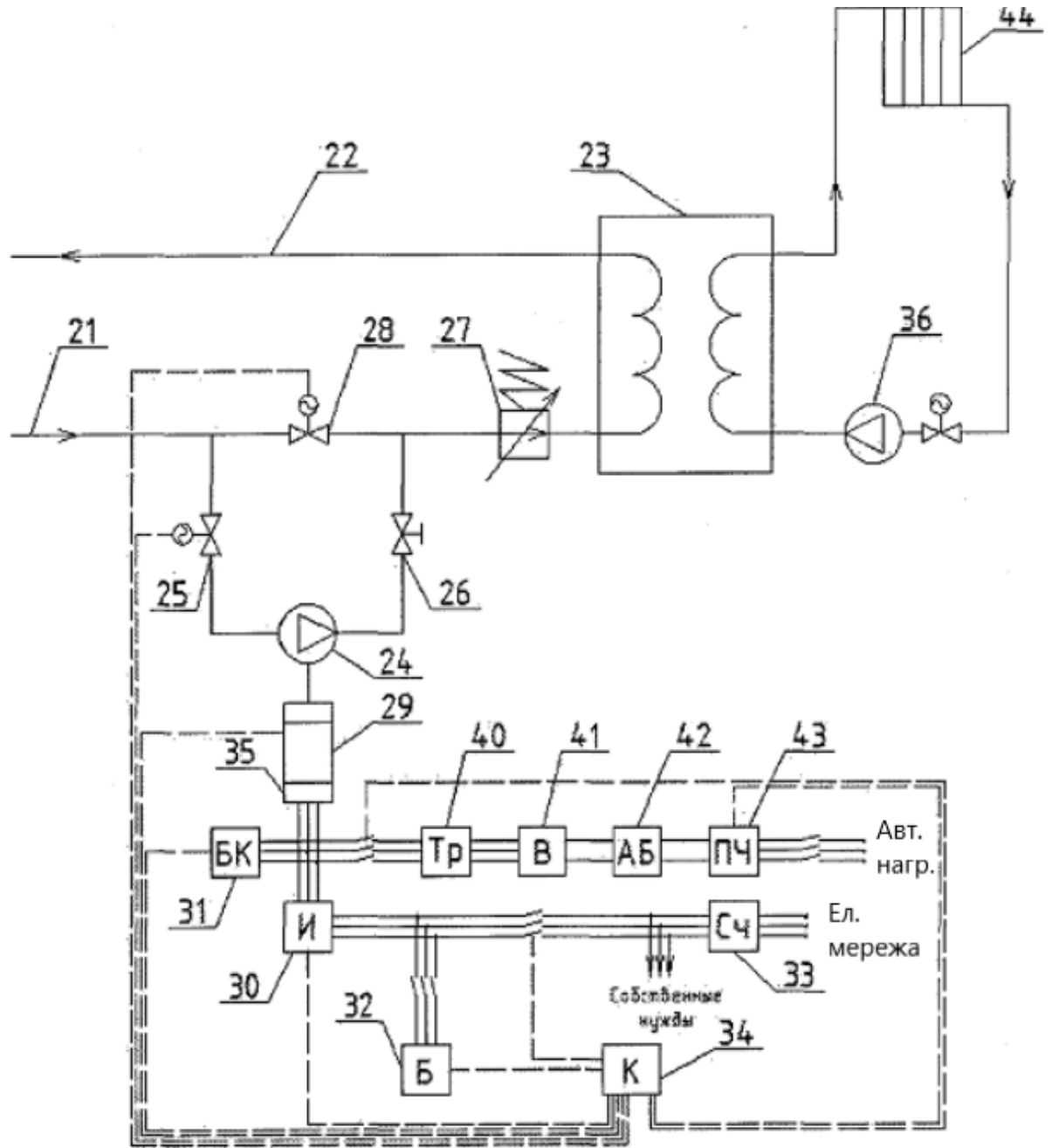


Рисунок 3.5. Тр - «прямий» трубопровід, 22 - «зворотний» трубопровід, 23 теплообмінник, 24 - турбіна, 25, 26 - запірно-регулюючі клапани, 29 генератор, 30 - інвертор, 31 - батарея конденсаторів, 32 - баластне навантаження, 33 - лічильник електричної енергії, 34 - контролер, 40 -

узгоджувальний трансформатор, 41 - випрямляч, 42 - акумуляторна батарея, 43 - перетворювач частоти, 44 - теплообмінник.

Загальний вид рекупераційних установок представлений на рис. 3.6.



Рисунок 3.6. Загальний вид установок рекуперації тиску

Основою СРТ є турбогенераторна установка, виконана на базі відцентрового насоса з асинхронним електродвигуном.

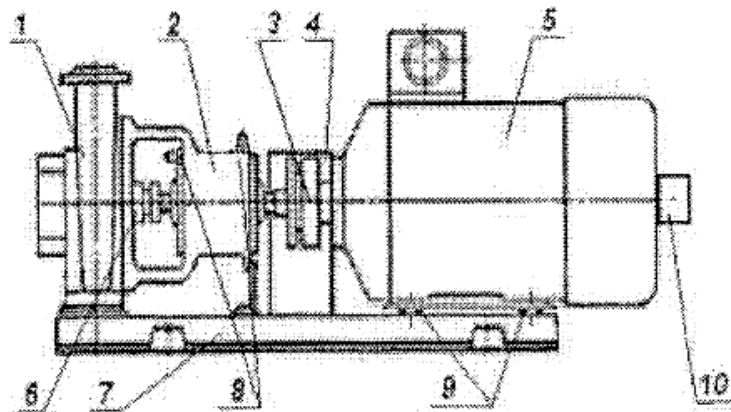


Рисунок 3.7. Генераторний блок (турбіна-генератор): 1 - турбіна; 2 - стійка підшипникова; 3 - муфта сполучна; 4 - кожух захисний; 5 - генератор; 6 - ущільнення валу; 7 - платформа; 8 - прес-маслянки підшипників турбіни; 9 - регулювальні шайби; 10 - датчик частоти обертання.

Установка зібрана на опорній платформі 7 (рис. 3.7), яка кріпиться на зварений опорний рамі. Турбіна виконана на базі модифікованого відцентрового консольного насоса. Конструкція корпусу насоса залишена без змін. Модифікація насоса спрямована на досягнення необхідних напірно-видаткових характеристик і ККД робочого колеса. Вихідний вал турбіни має одинарне торцеве ущільнення 6. Вал закріплений в опорно-упорних підшипниках стійки 2. Змащення підшипників забезпечується через прес-маслянки 8, розташовані на стійці 2.

Асинхронний генератор виконаний на базі двошвидкісного асинхронного трифазного електродвигуна 5 (далі - генератор) типу АІР з одним вихідним кінцем вала. Надлишкова потужність турбіни забезпечує роботу електродвигуна в генераторному режимі. Вал генератора з'єднаний з валом турбіни за допомогою муфти 3 з пружними пальцями. Муфта закрита захисним кожухом 4. Необхідна співвісність валів (центрування муфти) забезпечується підбором товщини регулювальних шайб 9 (металевих прокладок), що встановлюються під опорні лапи генератора.

Оптоелектронний датчик частоти обертання змонтований на кожусі зовнішнього вентилятора генератора. Відбивний диск датчика кріпиться безпосередньо на торці вентилятора. Монтажний зазор між оптичною головкою датчика і відбивним диском встановлюється за допомогою прокладок під кріпильні болти.

Агрегат призначений для роботи в низькотемпературних магістралях на воді з рН=6...9, що містить механічні домішки не більше 0,1% за обсягом і розміром часток не більше 0,2 мм. Допустимий режим роботи - безперервний (за винятком зупинок на технічне обслуговування та ремонт).

3.2 Принцип роботи установки СРТ

Принцип роботи установки детально пояснимо на прикладі СРТ, що може бути встановлена на одному з ЦТП м.Житомира (рис. 3.8). Установка

рекуперації тиску виконана за схемою рис. 2.5 (розділ 2), асинхронний генератор працює паралельно з мережею.

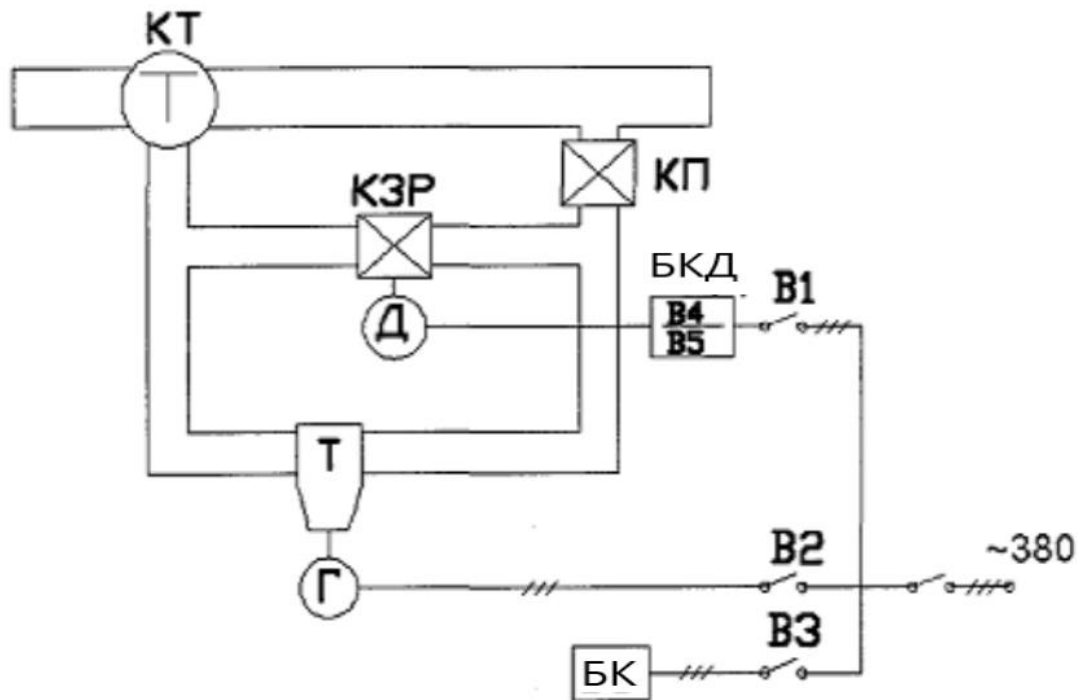


Рисунок 3.8. Типова схема рекупераційної установки: КТ - кран трьохходовий з ручним приводом, КП - кран повнопрохідний з ручним приводом, КЗР - клапан запірно-регулюючий з автоматичним приводом, БКД - блок керування двигуном Д клапана КЗР, БК - блок керування установкою, Т - турбіна, Г - асинхронний генератор, В1 - В5 - автоматичні вимикачі.

У вихідному (неробочому) стані установки потік теплоносія рухається безперешкодно через трьохходовий кран КТ. При цьому повнопривідний кран КП закритий, і блок «турбіна-генератор» знаходиться в нерухомому (неробочому) стані. Схема електричної частини установки СРТ представлена в додатку А.

Для приведення СРТ в робочий стан необхідно включити автоматичні вимикачі АВ1, АВ2 і АВ3. Блок управління БУ починає за допомогою датчика тиску за турбіною відстежувати величину тиску в магістралі. При наявності надлишкового магістрального тиску БУ закриває запірно-регулюючий клапан КЗР, і потік теплоносія буде розганяти турбіну. Одночасно БУ через датчик

частоти обертання контролює швидкість асинхронного генератора АГ. При досягненні першої синхронної швидкості обертання (1500 об/хв) БУ за допомогою блоку БПС підключає генератор до зовнішньої мережі. Якщо потужність генератора при роботі на першій синхронній швидкості досягає граничної величини, то БУ подає команду переходу на другу синхронну швидкість (3000 об/хв).

При цьому АГ відключається від мережі і розганяється до другої синхронної швидкості. При досягненні її БУ знову підключає генератор до мережі.

Якщо в процесі роботи генератора на мережу його потужність знижується до нуля, то БУ відключає генератор від мережі, щоб уникнути його переходу в руховий режим. Блок управління забезпечує автоматичне повторне включення генератора в мережу при досягненні позитивної розрахункової потужності генератора.

3.3 Система управління установкою СРТ

Система управління є невід'ємною частиною установки з рекуперації надлишкового магістрального тиску на ЦТП і забезпечує роботу установки без втручання оператора. Система управління дозволяє отримати оптимальні характеристики СРТ в умовах зміни параметрів тепломережі, що живить ЦТП, і режимів роботи самого ЦТП. Алгоритм роботи системи управління, закладений в систему управління, виключає вплив роботи СРТ на технологічні процеси обладнання ЦТП.

Електронна система управління дозволяє СРТ функціонувати в двох основних режимах: ручного і автоматичного управління.

В автоматичному режимі система управління забезпечує:

- Автоматичний запуск СРТ після натискання кнопки «ПУСК».
- Обмеження «знизу» мінімального тиску за турбіною.
- Забезпечення максимальної електричної потужності установки при роботі на мережу (з урахуванням обмеження тиску).

- Автоматичне відключення СРТ при натисканні кнопки «СТОП».
- Автоматичний зупинку СРТ в аварійних ситуаціях.

Режим ручного управління призначений для зняття експлуатаційних характеристик установки, пошуку несправностей і моделювання аварійних ситуацій з метою тестування працездатності системи автоматики і установки в цілому.

У ручному режимі система управління забезпечує:

- Дистанційне управління запірно-регулюючим клапаном (КЗР) установки.
- Можливість включення генератора для роботи на електричну мережу і відключення від неї.

До складу системи управління входять: електронний блок управління установкою (БУ), блок управління приводом КЗР, блок перемикання швидкості генератора (БПС), два датчика тиску, датчик частоти обертання генератора, три датчики струму, датчик потужності, датчик положення КЗР, джерело безперебійного живлення, захисні комутаційні пристрої.

Блок управління установкою виконує наступні функції:

- Управління електроприводом КЗР;
- Підключення генератора до мережі і його відключення;
- Вибір оптимальної швидкості генератора, що забезпечує видачу максимальної електричної потужності в мережу;
- Перемикання обмоток генератора для роботи на оптимальній швидкості;
- Збереження налаштовувальних параметрів і алгоритму управління при відключенні живлення БУ від зовнішньої мережі.

Цифрова індикація робочих параметрів СРТ (частота обертання і частота мережі, поточна потужність генератора та інтегральна вироблена енергія, струм і напруга генератора, перепад тиску і тиск за турбіною, положення КЗР) здійснюється з допомогою світлодіодного індикатора.

Світлосигнальна індикація стану СРТ і входять до неї пристроїв з допомогою світлодіодів дозволяє визначити наявність напруги мережі та напруги живлення в щиті управління, стан СРТ в автоматичному режимі («пуск - стоп»), крайні положення КЗР, стан генератора («включений - вимкнений»).

Конструкція БУ забезпечує можливість оперативної настройки системи і зміни алгоритму його роботи з допомогою зовнішнього комп'ютера без демонтажу блоку. До виконавчих пристроїв БУ відносяться електропривод КЗР і блок перемикання швидкості генератора. Система управління використовує кінцеві вимикачі крайніх положень, вбудовані в привід КЗР (відкритого і закритого) і датчик положення КЗР. Контактори забезпечують можливість реверсивного управління КЗР з боку БУ.

Автоматичні вимикачі забезпечують підключення і захист ланцюгів системи управління КЗР (AB1), силових ланцюгів генератора і блоку БПС (AB2), ланцюгів живлення БУ (AB3),

Важливою функцією системи управління є захист обладнання УРД у наступних аварійних ситуаціях:

- перевантаження генератора (якщо потужність генератора $P > 1,05P_n$), асиметрія струмів (якщо $\kappa > 15\%$), відключення напруги зовнішньої мережі.

Висновки по розділу 3

При аварійному стані генератора БУ забезпечує вимикання СРТ, самостійно формуючи команди, відповідні натисканню кнопки «СТОП». При раптовому відключенні зовнішньої мережі необхідну для відключення установки енергію забезпечує джерело безперебійного живлення.

Система управління дозволяє забезпечувати автоматичний режим експлуатації установки, здійснювати моніторинг та діагностування стану окремих вузлів і всього агрегату в цілому.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розроблено рекупераційна установка СРТ на основі асинхронного генератора.

Визначено схеми установки СРТ, що дозволяють працювати паралельно з мережею і на автономне навантаження в оптимальному режимі.

Встановлено залежність кидків струму від швидкості, при якій здійснюється включення асинхронного генератора в мережу.

Встановлено, що наявність акумуляторної батареї в якості джерела електричної енергії для живлення аварійного насоса несе в собі явну вигоду, враховуючи вартість робіт з ремонту системи опалення, наприклад, житлового будинку. Тому з економічної або, правильно буде сказати, з точки зору економічної безпеки, дана установка себе виправдовує і окупає.

Досліджено вплив швидкості, при якій здійснюється включення генератора в мережу, на кидки струмів при використанні струмообмежуючих резисторів.

Показано, що паралельна робота СРТ з мережею не призводить до погіршення якості електроенергії останньої.

При аварійному стані генератора БУ забезпечує вимикання СРТ, самостійно формуючи команди, відповідні натисканню кнопки «СТОП». При раптовому відключенні зовнішньої мережі необхідну для відключення установки енергію забезпечує джерело безперебійного живлення.

Система управління дозволяє забезпечувати автоматичний режим експлуатації установки, здійснювати моніторинг та діагностування стану окремих вузлів і всього агрегату в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В. А., Жуковський В. С., Пилипенко А. Т. Енергозбереження в промисловості. Київ: Техніка, 2000. – 451 с.
2. Гончарук Г. І., Іванов В. І. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 376 с.
3. Малярєнко В. А., Петренко В. П. Тепломасообмін в енергетиці та хімічній технології. Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – 274 с.
4. Пашинський В. О., Ковальчук О. П. Енергетичний менеджмент. Київ: Центр учбової літератури, 2009. – 258 с.
5. "Рекуперація енергії у контурі електричного розряду із змінною індуктивністю" - old-pratsi.op.edu.ua
6. Державні будівельні норми (ДБН) та інші нормативні акти, що стосуються енергоефективності будівель та промислових об'єктів.
7. Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – 452 p.
8. Cengel, Y. A., & Boles, M. A. Thermodynamics: An Engineering Approach..
9. Kreith, F., & Goswami, D. Y. Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy.
10. "Energy recovery strategies in water distribution networks: literature review and future directions in the net-zero transition" - tandfonline.com
11. "Energy recovery strategies in water distribution networks: literature review and future directions in the net-zero transition" – ResearchGate
12. Pneumatics Toolkit: How to Calculate Energy Savings [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.machinedesign.com/mechanical-motionsystems/article/21154799/>
13. Pneumatic Circuit Analysis for Energy Efficiency [Електронний ресурс] // ASCO Numatics, EMERSON Industrial Automation. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.airbestpractices.com/systemassessments/pneumatics/pneumatic-circuit-analysis-energy-efficiency>.
14. Methods to Evaluate and Measure Power of Pneumatic System and Their Applications. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://cjme.springeropen.com/articles/10.1186/s10033-019>