

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана
Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка системи керування синхронним генератором в автономному режимі для стабілізації напруги і частоти

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-61
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Хоміцький О.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту ХОМІЦЬКОМУ Олегу Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи керування синхронним генератором в автономному режимі для стабілізації напруги і частоти

Керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » жовтня 2024 року № 4/7-988

2. Термін подання студентом завершеної роботи грудень, 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні параметри гідроагрегату №2, навантаження соживачів критичної інфраструктури, режими роботи гідроелектростанції

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунково-дослідницький розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставленні задачі та шляхи їх розв'язку

2. Схема гідроагрегату №2 50 кВт

3. Однолінійна схема мікроенергоострова об'єктів Бучацької міської ради

4. Функціональна схема системи автономного живлення

5. Система управління автономною ГЕС

6. Зовнішній вигляд модуля стабілізації напруги генератора

7. Принципова схема модуля напруги генератора

8. Загальні висновки до кваліфікаційної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач		
Нормоконтроль	Коваль В.П., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі авдання жовтень 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Хоміцький О.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Оробчук Б.Я.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Хоміцький О.І. Розробка системи керування синхронним генератором в автономному режимі для стабілізації напруги і частоти. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2024.

Стор. - 66; рис. - 28; табл. - 4; слайдів - 15; джерел – 27

У кваліфікаційній роботі розглянуто проектування та впровадження системи керування синхронним генератором в автономному режимі для стабілізації напруги і частоти споживачів критичної інфраструктури Бучацької міської ради на період «блекауту».

Метою виконаної роботи є проектування та реалізація автономної системи електроживлення критичної інфраструктури (24/7) Бучацької міської ради на базі другого гідроагрегату ГЕС «Топольки». Для досягнення поставленої мети було проведено аналіз по споживанню електроенергії об'єктів критичної інфраструктури Бучацької міської ради, спроектована та побудована резервна повітряна лінія від ГЕС «Топольки» до об'єктів критичної інфраструктури, виготовлено та впроваджено модулі керування стабілізацією напруги та частоти генератора, виготовлено баластне навантаження та розроблено методичні вказівки для управління ГЕС в автономному режимі.

Ключові слова: автономна робота гідроелектростанції, стабілізація частоти генератора, баластне навантаження, маховик, ПІД-регулятор.

ABSTRACT

O. Khomitsky. Development of a synchronous generator control system in offline mode for voltage and frequency stabilization. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group ETm-61. – Ternopil: TNTU, 2024.

Page – 66; Illustrations – 28; Tables – 4; Blueprints – 15; Sources – 27

The qualification work considers the design and implementation of a synchronous generator control system in autonomous mode to stabilize the voltage and frequency of consumers of critical infrastructure of the Buchach City Council during a blackout period.

The purpose of the work performed is to design and implement an autonomous power supply system for critical infrastructure (24/7) of the Buchach City Council based on the second hydroelectric unit of the Topolky HPP. To achieve this goal, an analysis of the electricity consumption of critical infrastructure facilities of the Buchach City Council was conducted, a backup overhead line from the Topolky HPP to critical infrastructure facilities was designed and built, control modules for stabilizing the voltage and frequency of the generator were manufactured and implemented, ballast load was manufactured, and methodological guidelines for controlling the HPP in autonomous mode were developed.

Keywords: autonomous operation of hydroelectric power plant, generator frequency stabilization, ballast load, flywheel, PID controller

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Гідравлічні турбіни	11
1.2 Генератори	12
1.3 Аналіз вимог до міні-ГЕС	16
1.4 Аналіз систем автономного керування ГЕС	17
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	23
2.1 Дослідження системи керування міні-ГЕС	23
2.2 Дослідження статичних та динамічних характеристик	29
2.3 Розрахунок струму баластного навантаження та підбір регуляторів	34
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	38
3.1 Розробка та концепція автономної системи управління ГЕС	38
3.2 Комплексне функціонування системи управління ГЕС	42
3.3 Модуль регулювання і стабілізації напруги генератора	45
3.4 Мікропроцесорний ПД-регулятора МІК-311	47
3.5 Трансформаторний трифазний випрямляч	49
3.6 Тиристорний модуль РЕНАП-3Т-100	50
3.7 Частотомір АРМ-FREQ-АРО	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
4.1 Вплив шуму на організм людини та заходи щодо зниження рівня шуму	53
4.2 Вплив вібрації на організм людини та заходи щодо зниження вібрації	56
4.3 Підвищення стійкості роботи гідрогенератора до дії уражаючих факторів ядерного вибуху	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	64

ВСТУП

Актуальність теми. Ворожі атаки на об'єкти централізованого електроживлення створюють нові проблеми для стабільного функціонування енергетики України, де особливо актуальним постає питання безперебійного живлення електроенергією важливої та критичної інфраструктури. Ефективне рішення даної проблеми є побудова автономних систем електроживлення з використання дизель-генераторів. Але дизельні генератори мають ряд суттєвих недоліків, серед яких велика собівартість виробленої енергії, збільшений рівень шуму, велика забрудненість повітря, постійна потреба в дизпаливі, що значно ускладнено логістикою постачання та іншими перепонами різного характеру тощо. Таким чином, враховуючи енергетичну кризу, пов'язану зі скороченням органічного палива та зростанням цін на нього, стрімко зростаючими проблемами екології та світові тенденції щодо декарбонізації, більш перспективними автономними системами електроживлення є ті, що використовують відновлювані джерела енергії. Крім того, що є дуже важливо, ці системи можна буде використовувати і в післявоєнні часи. Тому, актуальною є задача розробки енергоефективної системи живлення на основі відновлюваних джерел, яка може працювати як автономному режимі, так і паралельно з енергетичною мережею. Варто відзначити, що суттєве місце серед відновлюваних джерел енергії, враховуючи економічно-доцільний потенціал нашої країни, займає енергія потоку води, яка має високу енергетичну щільність та відносну стабільність, на відміну від, наприклад, енергії вітру та сонця, а завдяки більшій густині води в порівнянні з повітрям, має менші масо-габаритні та вартісні показники гідротурбіни в порівнянні з вітровою установкою [2].

Для підвищення енергоефективності автономних систем електроживлення розробники застосовують різні типи генераторів, комбіновані методи керування та гібридні структури, що можуть поєднувати в собі різні типи первинної енергії та накопичувачі енергії. Так, використання різних видів

первинної енергії дозволяє створити системи, які здатні працювати без додаткових резервних дизель-генераторів.

Мета і завдання досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування доцільності застосування малих гідроелектростанцій в якості ефективного автономного джерела (енергоострів) електроживлення об'єктів критичної інфраструктури при «блекауті» з використанням нестандартних методів керування, для підвищення їх енергоефективності.

Зазвичай гідроелектростанції (надалі ГЕС) складаються з гідротурбіни, електрогенератора, системи регулювання водотоком, системи комутації та стабілізації параметрів вихідної напруги і містять інші додаткові елементи.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз автономних енергосистем;
- розроблено проєкт та введено в експлуатацію автономну систему керування МГЕС в енергоострові Бучацької міської ради;
- розроблено інструкцію по управлінню ГЕС в автономному режимі.

Об'єктом дослідження є система керування синхронним генератором в автономному режимі.

Предметом дослідження є методи керування синхронним генератором та процеси, які протікають під час роботи системи в автономному режимі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- запропоновано систему управління з нестандартним алгоритмом керування гідроагрегатом в автономному режимі.
- розроблено інструкцію для операторів ГЕС по управлінню в автономному режимі.

Практичне значення одержаних результатів роботи:

- отримані результати можна практично використати для модернізації існуючих ГЕС для роботи в автономному режимі
- реалізовану систему енергоживлення можна рекомендувати для створення енергоостровів для живлення критичної інфраструктури

Апробація результатів кваліфікаційної роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної електротехніки-2024» 25-27 червня 2024 року (м. Київ) та на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Світлотехніка та енергетика: історія, проблеми, перспективи», 29-31 травня 2024 р. (м. Тернопіль).

Публікації. За результатами виконаних досліджень:

- отримано 1 патент на корисну модель «Пристрій стабілізації частоти напруги генератора автономної мережі живлення». МПК H02P 9/30 9/42 (2006.01);

- опубліковано статтю «Концепція побудови гібридної системи керування мікрогідроелектростанцією» / Зайченко О., к.т.н., Мруня Ю., к.т.н., Рижков О., докт. філ., Гаврилюк С., к.т.н., Хоміцький О., Харченко О. // Журнал «Технічна електродинаміка». - №4, 2024 р.

- опубліковано тезу «Стабілізація частоти напруги генератора в автономній системі резервного конференцій живлення на базі малих ГЕС» / Б Оробчук, О Хоміцький, О Зайченко, А Лещук. VII Міжнародна науково-технічна конференція „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи”. (Тернопіль, 11-12 травня 2024) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2024.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (27 найменувань). Загальний обсяг текстової частини: 66 сторінок, 4 таблиці, 28 рисунків,

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Теплоелектростанції на відміну від гідроелектростанції (ГЕС) на пряму не спричиняє забруднення атмосфери. Отримана енергія є однією з найдешевших, чистих і є відновлюваною. Даний тип станції має високу маневреність, що дозволяє швидко збільшити або зменшити згенеровану потужність відповідно до споживання. З останніми подіями в енергетиці України, розосереджена генерація, що можуть забезпечити міні-ГЕС, може зменшити проблеми з перебоєм електропостачання.

Гідроелектростанції використовують енергію води для вироблення електроенергії. Згідно міжнародної класифікації міні-ГЕС вважаються об'єкти з потужністю від 100 кВт до 1000 кВт. Міні-ГЕС будуються на невеликих річках.

Використання міні-ГЕС дозволяє забезпечувати постійне підключення до енергомережі, та заробляти на продажі електроенергії. Також це вирішує проблему з електропостачанням, оскільки ГЕС може бути повністю автономним джерелом енергії. Найбільший перспективним в Україні є Карпатський регіон. Його потенціал малих річок складає 7600 млн. кВт-год/рік що становить більше ніж 55% від загального по всій Україні [0].

1.1 Гідравлічні турбіни

Гідравлічна турбіна - це механізм що перетворює енергію руху води в механічну енергію обертання. Турбіни поділяються на активні та реактивні (рис. 1.1). Активні турбіни використовують лише кінетичну енергію водяного потоку. Тиск води у соплі перед входом у турбіну знижується. Тиск при обтіканні рухомих лопатей залишається незмінним і дорівнює атмосферному. При тиску на лопаті, увесь тиск води перетворюється в кінетичну енергію.

Реактивні турбіни використовують як кінетичну енергію, так і потенціальну енергію тиску води. Тиск води постійно зменшується, коли

вона обтікає лопаті. Тому і на виході тиск теж нижчий. Тиск перед лопатю не змінюється.

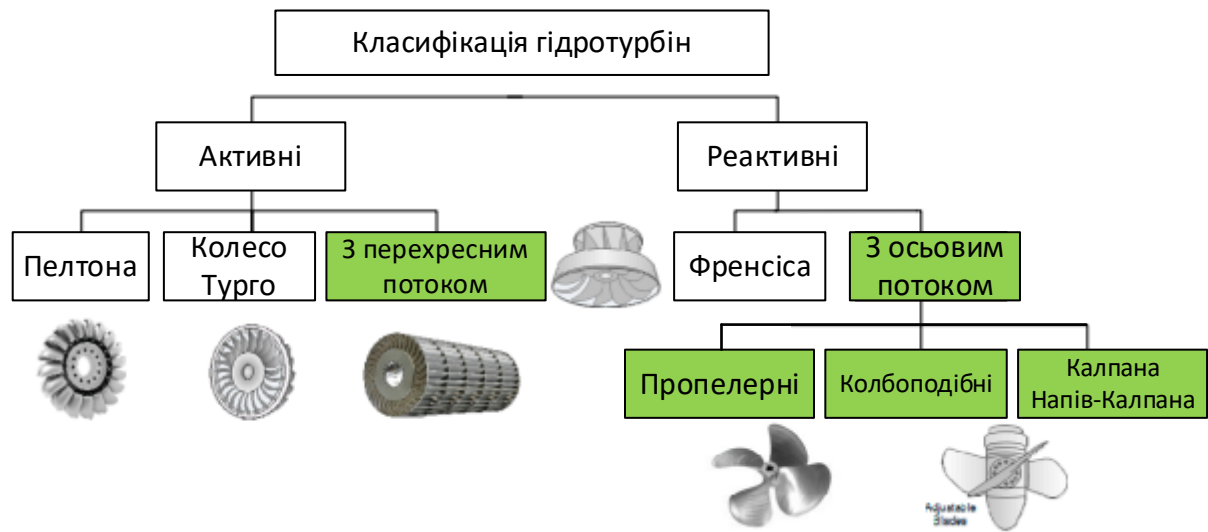


Рисунок 0.1 – Класифікація гідротурбін

Турбіна Пелтона. В даному випадку потік води подається через сопла по дотичній до окружності, що проходить через середину ковша. При цьому вода, що проходить через сопло, формує високошвидкісну струю, що ударяється об лопаті (ковші) і обертає колесо. На цьому колесі може бути встановлено до 40 лопатей і максимальна кількість сопел – 6. Лопаті турбіни маю лезо посередині, задача яких розділити струю, щоб зменшити знос лопатей та покращити використання енергії. Даний тип турбін застосовується для високих напорів від 60м.

Турбіна Турго. Працює в діапазоні напорів від 50-250 м. Схожа з турбіною Пелтона з відмінністю в конструкції ковшів та тим, що струмінь води падає на площину колеса під кутом в 20° . В порівнянні з турбіною Пелтона, турбіна Турго має вищу швидкість при тому ж напорі та потоці, але коефіцієнт корисної дії (ККД) нижчий.

Перехресно-потокова турбіна. Вода надходить в турбіну через один або декілька напрямних каналів, що розташовані вище за течією від бігуна, і двічі перетинає його, перед тим як залишити турбіну. Робочий діапазон напорів від 5 до 200 м. Дана турбіна має низький ККД в порівнянні з іншими

турбінами, але є дешевою, а ремонт є легким і дешевим. Це робить дану турбіну привабливим варіантом в використанні.

Турбіна Френсіса. Це турбіна з фіксованими лопатками і регульованими напрямними лопатками. В колесі вода рухається від країв до центра, а потім в осьовому напрямку. Тобто в цій турбіні вхідний отвір завжди радіальний, а вихідний – осьовий. Зазвичай дані турбіни застосовуються при напорах від 25 до 600 м. Перевагами є найвищий ККД, але дана турбіна має більш крутішу характеристику ні у турбін Каплана.

Турбіни Каплана і пропелерні турбіни. Це турбіни з осьовим потоком. Турбіна Каплана має регульовані лопаті колеса і може мати регульовані напрямні лопаті. Якщо напрямні лопаті регульовані, то турбіна називається турбіною з подвійним регулюванням. Якщо лопаті колеса фіксовані, то це пропелерна турбіна. Зазвичай дані турбіни використовуються для напорів від 2 до 40м.

Колбоподібна турбіна. Вона є похідною від турбін Каплана, в яких генератор міститься в водонепроникній конструкції, зануреної в потік. Може працювати в діапазонах від напору від 0.5 до 30 м.

Оскільки міні-ГЕС зазвичай мають обмежену кількість води в водосховищі або воно взагалі відсутнє, а отже працюють при високій швидкості та низькому напорі. Тому клас осьових мікро гідравлічних турбін, а також турбіни з перехресним потомком є найпривабливішими механізмами через їх високу продуктивність в даних умовах [0, 0].

1.2 Генератори

Генератор – це електрична машина, що перетворює механічну енергію в електричну. Більшість ранніх електростанцій працювали на двигуні постійного струму. В сучасній же гідроенергетиці зазвичай використовуються трифазні генератори змінного струму: синхронні генератори з подвійним живленням або збудженням від постійних магнітів, асинхронні генератори з подвійним живленням або короткозамкненим

ротором. Зі збільшенням потужності, напруга на генераторах збільшується. Для машин потужністю до декількох мегават застосовуються серійні машини, при більшій потужності виконується конструювання генератора під конкретне використання.

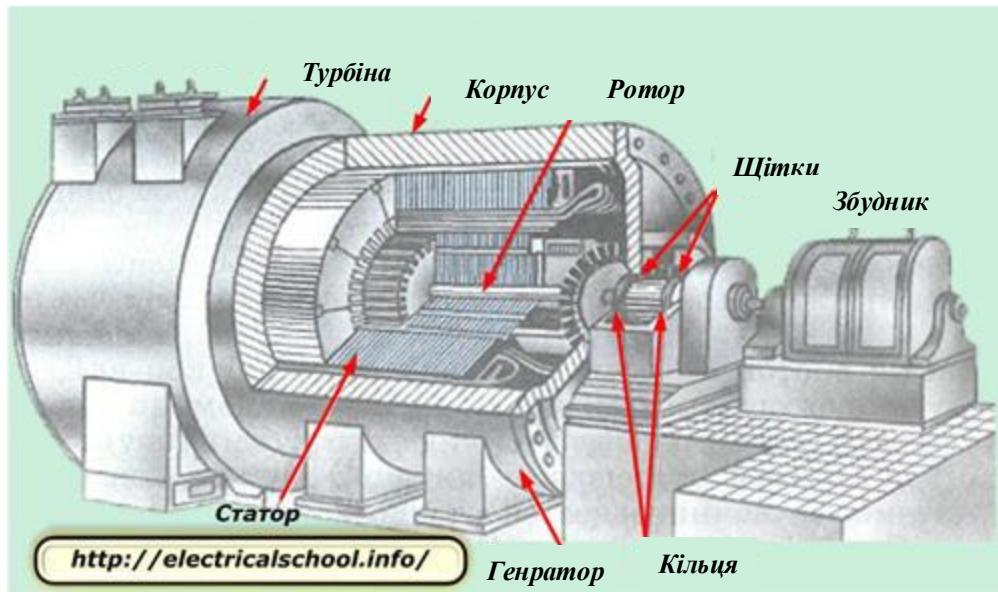
Асинхронний генератор (АГ) з короткозамкненим ротором має високу надійність, малі габарити, низьку вартість та просте включення на паралельну роботу з мережею. АГ з фазним ротором не зважаючи на те, що має кращі регульовальні характеристики є менш надійними, дорожчими та мають більші габарити. Основним недоліком АГ є його споживання реактивної потужності, а отже система потребує конденсаторної батареї або синхронного збудника, що збільшує вартість системи ГЕС. Напруга, що генерується значно залежить від навантаження та швидкості ротора, через що виникає необхідність в регулюванні потужності конденсаторних батарей. При великому індуктивному навантаженні ($\cos \phi < 0.8$), ємність конденсаторів, що необхідні для збудження значно зростає [0]. При паралельній роботі з системою, де вагова частина генератора становить до 5% від загального виробітку енергії, швидкість ротора майже не впливає на генеровану напругу та частоту. Також АГ не потребують синхронізації, що збільшує їх маневреність. Це все спрощує систему автоматизації, а отже і вартість системи.

Для збудження асинхронний генератор повинен споживати реактивну потужність з трифазної мережі, щоб забезпечити рівномірне намагнічування. Живлення від мережі визначає частоту магнітного потоку, що обертає статор, а отже, синхронну швидкість, вище якої повинен обертатися вал ротора. Під час запуску турбіна розганяється до швидкості трохи вище синхронної швидкості генератора, коли реле швидкості замикає вимикач головної лінії. З цього надсинхронізованого стану швидкість генератора буде знижена до синхронної швидкості шляхом подачі струму в мережу. Відхилення швидкості від синхронної швидкості буде генерувати рушійний або протидіючий момент, який балансує в області стабільної роботи [0].

Незважаючи на те, що синхронні генератори мають більші розміри та масу а також те, що до потужності в 1 МВт вони дорожчі за АГ, їх найчастіше використовують в гідроенергетиці. До їх переваг відносять меншу потужність збудження та простоту його виконання, простота регулювання частоти та більша її стабільність, також ефективність синхронних генераторів дещо вища.

Для синхронізації синхронний генератор запускається перед підключенням до мережі обертанням турбіни. Поступово прискорюючи турбіну, генератор повинен бути синхронізований з мережею, регулюючи напругу, частоту, кут зсуву фаз і швидкість обертання. Коли всі ці значення контролюються правильно, генератор може бути підключений до мережі. У разі роботи в ізолюваному режимі або поза мережею, регулятор напруги підтримує задану постійну напругу, незалежно від навантаження. У разі живлення від мережі контролер підтримує заданий коефіцієнт потужності або реактивну потужність. Збудження може відбуватися від невеликого генератора постійного струму, що приводиться в дію від головного валу. Потужність, що споживається цим генератором постійного струму, становить 0,5%-1,0% від загальної потужності генератора. Малий генератор має котушки збудження на статорі і генерує змінний струм в обмотках ротора. Твердотільний випрямляч обертається разом з валом, перетворюючи змінний струм на виході малого генератора в постійний, який подається на обертові котушки збудження основного генератора. Регулювання відбувається шляхом керуванням струмом в обмотках збудження малого генератора. На даний час статичний збудник зазвичай замінює генератор постійного струму, але все ще існує багато обертових збудників, що експлуатуються. Статичний збудник - це підключений до мережі випрямляч, який подає постійний струм на обмотки збудження генератора замість обертового збудника. Регулювання напруги та коефіцієнта потужності відбувається так само, як і у випадку з обертовим пристроєм. Статичні збудники надійні, прості в обслуговуванні і

мають високий ККД [0]. Реакція на коливання напруги генератора дуже хороша.



Риунок 1.2 – Будова синхронного генератора з обертовим збудником

Отже, бажаним використанням асинхронних машин є паралельна робота в стабільній мережі, де на АГ припадає незначна частка навантаження. Їх можна використовувати і в автономних система, але доцільно лише для активного навантаження. Синхронні генератори здатні генерувати реактивну потужність і їх використовують в мережах із значною часткою навантаження на них та в автономних система навіть при великій частці індуктивного навантаження (рис.1.2) [0, 0, 0].

Хоч синхронний генератор має більшу ефективність, його керування в основному приходить на обмотку статора, що розраховується на повну потужність. АГ з фазним ротором може керуватися в обмотці ротора, що зменшує необхідну потужність перетворювача потужності перетворювача, що становить приблизно 30% від потужності АГ. В [0] наведе порівняння для двигунів потужністю 100 МВА, з якого слідує що при використанні концепції з перетворювачем в колі ротора, ККД більший. Це спричинено тим, що хоч втрати в самому синхронному генераторі менші, але втрати в перетворювачі складають приблизно 55% від загальних втрат. Це робить АГ з

фазним ротором більш економічним. Однак недоліком даної концепції є недостатня керованість на відміну від варіанту з перетворювачем на повну потужність. Хоч втрати більші в каскаді перетворювачі, а також дорожчі компоненти силової електроніки, та спосіб з повно потужним керуванням забезпечує більші можливості керування та кращу підтримку мережі, що для автономних систем є пріоритетним.

1.3 Аналіз вимог до міні-ГЕС

До міні-ГЕС ставиться ряд вимог по якості виробленої електроенергії, системи керування.

Якість електричної енергії. Відповідно до постанови затвердженої Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 14.03.2018 №310 встановлюються наступні вимоги до електропостачання [0]:

1. Стандартна номінальна напруга U_n для мереж низької напруги загального призначення має значення 230 В між фазним і нульовим проводом або між фазними проводами.

2. Зміна напруги не повинна перевищувати $\pm 10 \%$ від величини номінальної напруги.

3. Для систем без синхронного приєднання до ОЕС України - $50 \text{ Гц} \pm 2 \%$ протягом 99,5 % часу за рік та $50 \text{ Гц} \pm 15 \%$ протягом 100 % часу.

4. 95 % середньоквадратичних значень складника зворотної послідовності напруги електропостачання, усереднених на 10-хвилинному проміжку, для мереж низької напруги мають бути в межах від 0 % до 2 % від складника напруги прямої послідовності.

5. Сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень напруги електропостачання, ураховуючи всі гармоніки до 40-ї включно, для мереж низької напруги має бути меншим чи рівним 8 %.

Системи керування. Оскільки міні-ГЕС, в основному, не мають постійного персоналу, що виконує контроль, то вони повинні бути обладнані системою автоматизації. Оскільки кожне рішення є індивідуальним, то важко визначити необхідний ступінь автоматизації, але є деякі вимоги, які в основному виконуються:

1. Система повинна включати в себе необхідні реле і пристрої для виявлення несправностей серйозного характеру серйозної несправності, а потім вжити заходів для переведення блоку або всієї установки в безпечний знеструмлений стан. до безпечного знеструмленого стану.
2. Відповідні експлуатаційні дані станції повинні бути зібрані і легко доступні для прийняття експлуатаційних рішень, а також зберігатися в базі даних для подальшої оцінки роботи станції.
3. Повинна бути передбачена інтелектуальна система управління, що дозволяє повноцінно експлуатувати станцію без нагляду.
4. Повинна бути можливість доступу до системи управління з віддаленого місця і скасування будь-яких автоматичні рішень.
5. Система повинна мати можливість взаємодіяти з аналогічними установками, розташованими вище і нижче за течією, з метою з метою оптимізації операційних процедур.

1.4 Аналіз систем автономного керування ГЕС

Найбільш популярні дві концепції керування: зі змінною та з постійною швидкістю. Розглянемо два представники цих методів керування: на основі перетворювача частоти та автобаластний спосіб.

Генерація зі змінною швидкістю. Топології відрізняються при даному способі за трьома параметрами: використовувані генератори, система механічного з'єднання та підключення силової електроніки. Функціональні схеми систем що розглядаються наведені на Рис. 1.3.

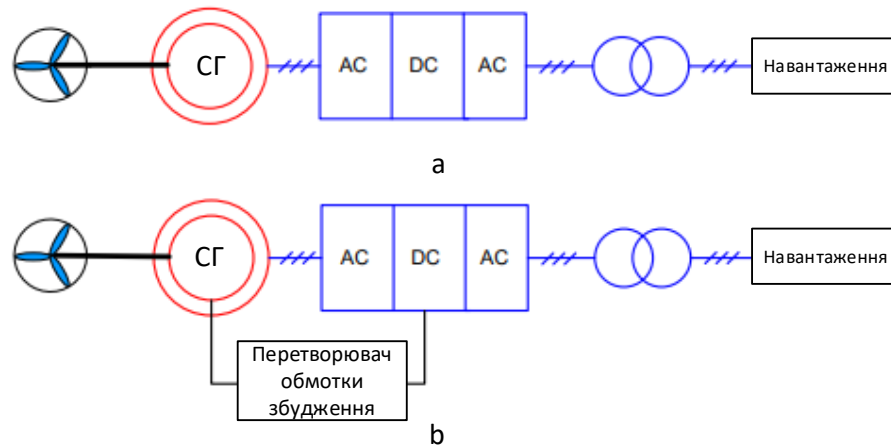


Рисунок 1.3 – Топологія зі змінною швидкістю: а – без керування в обмотці збудження; б – з керуванням в обмотці збудження

Топологія з відсутнім керуванням в обмотці збудження, хоч і потребує менше активних компонентів, але при цьому погіршується здатність до керування системи. По-друге, гідроагрегат з перетворювачем повної потужності має розширений діапазон регулювання швидкості. Крім того, перетворювач від'єднує генератор від мережі, що призводить до меншого впливу збурень в мережі.

Глобальні цілі керування регульованою швидкістю міні-ГЕС включають два аспекти: управління з боку генератора та з боку мережі (рис. 1.4).

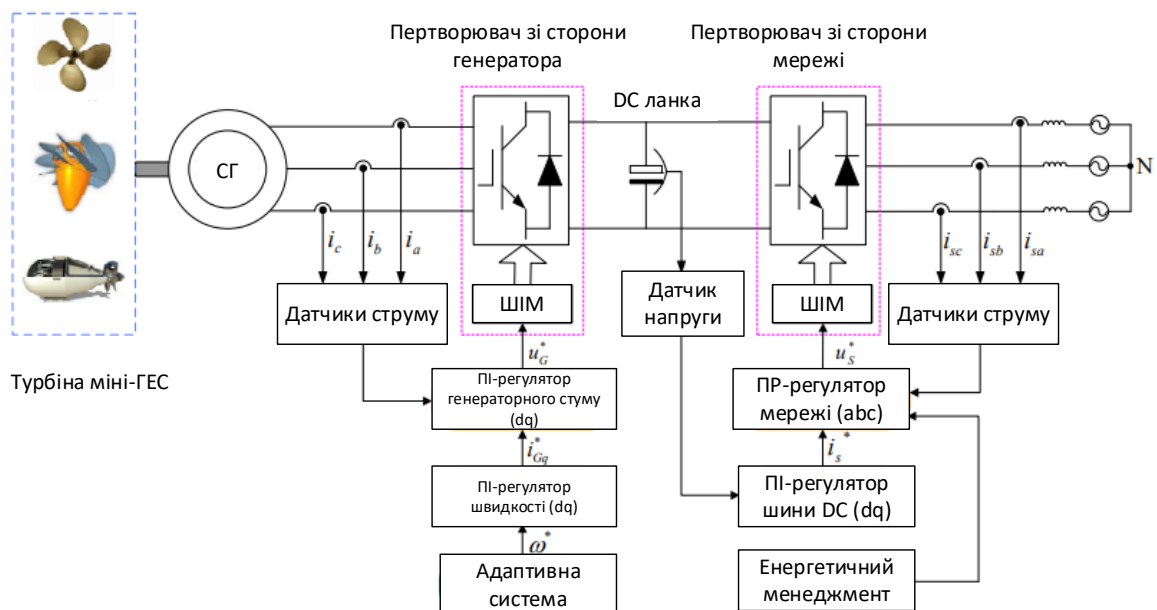


Рисунок 1.4 – Архітектура системи керування міні-ГЕС зі змінною швидкістю

Керування з боку генератора: його основною метою є досягнення максимальної потужності шляхом керування валом турбіни, щоб він працював з оптимальною швидкістю обертання. Швидкість визначається динамічною функцією вхідного гідравлічного моменту та електромагнітного моменту двигуна, який досягаються за допомогою управління поточними компонентами двигуна.

Керування з боку мережі: включає подвійні замкнуті контури управління, а саме: внутрішній контур управління струмом мережі та другий контур управління напругою на шині постійного струму. Регулювання напруги постійного струму забезпечує стабільність напруги на шині постійного струму. Регулювання струму забезпечує високу якість струму з меншою кількістю гармонік, відсутністю спотворень і низькочастотних коливань, а також коефіцієнт потужності, що дорівнює 1 [14]. У цій роботі ПІ-регулятор використовується для підтримки постійної напруги на шині постійного струму; струм з боку мережі контролюється за допомогою трьох пропорційно-резонансних (ПР) регуляторів на основі трифазної схеми abc [0].

Генерація із фіксованою швидкістю. В основі автобаластного методу лежить принцип стабілізації швидкості генератора способом регулювання величини електричного навантаження. Даним методом можна розуміти перерозподіл потужності між споживачами та баластним навантаженням (БН) для підтримки однакового сумарного навантаження. Для цього можна використати систему регулювання баласту по струму навантаження. Струм які протікають по фазах будуть вимірюватись регуляторами струму (РС) і якщо струми відрізняються від своїх номінальних значень, то струми БН завдяки регулюванню регулятором баласту (РБ) будуть збільшуватись або зменшуватись так, щоб струм кожної фази залишався незмінним.

Система регулювання БН по струму навантаження забезпечує високу якість стабілізації напруги в перехідних режимах, що виникають під час переключень в колі навантаження (рис. 1.5).

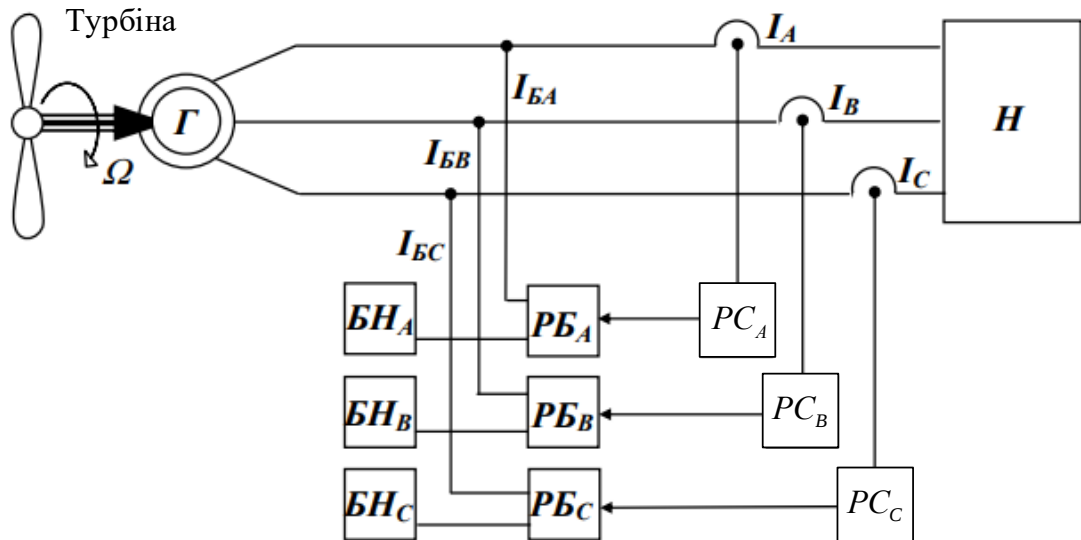


Рисунок 1.5 – Схема регулювання баласту по струму навантаження

Статична стійкість залежить від системи регулювання струмом збудження синхронного генератора. Рекомендується використовувати двоканальну систему на прикладі систем з регулюванням частоти та струмовим способом регулювання розсіюваної потужності на БН [0]. Структурна схема двоканального керування за допомогою БН показана на рис. 1.6: БН1 - частотний канал, БН2 - струмовий канал. Достатня швидкодія струмового регулювання забезпечує гарні динамічні показники станції при непрогнозованих змінах навантаження, а баластне навантаження частотного регулятора служить для більш точної стабілізації частоти вихідної напруги.

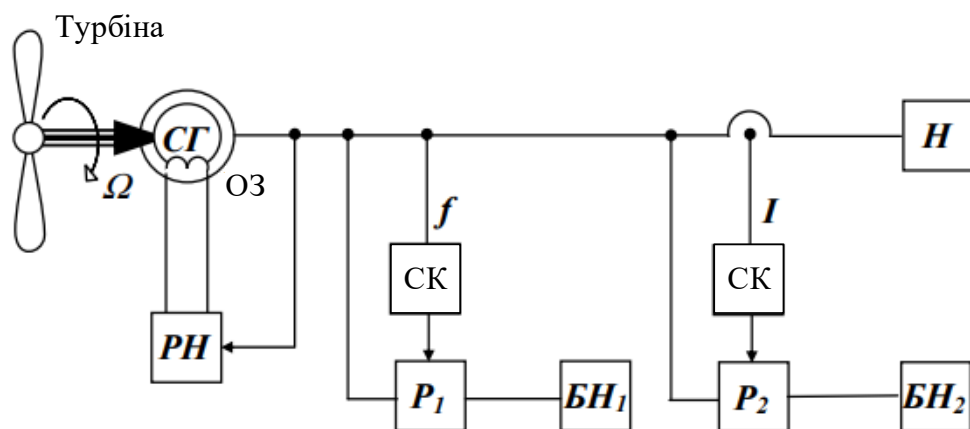


Рисунок 1.6 – Структурна схема двоканального керування за допомогою БН (струмове та частотне)

Основна схема силовій частини регулятора автобаласту наведена на рис. 1.7.

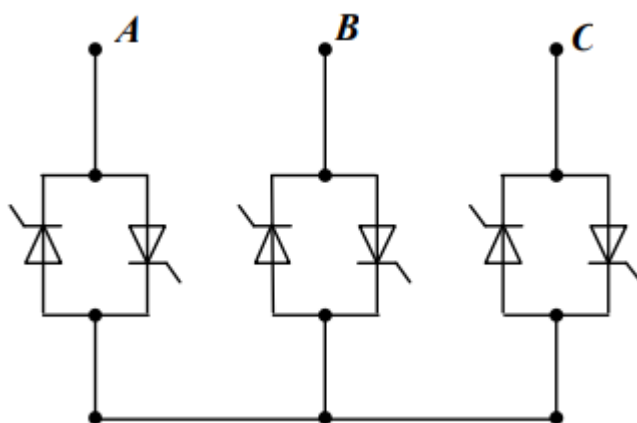


Рисунок 1.7 – Схема силовій частини регулятора автобаласту

Одна з можливих схем регулятора автобаластного навантаження наведена на рис. 1.8.

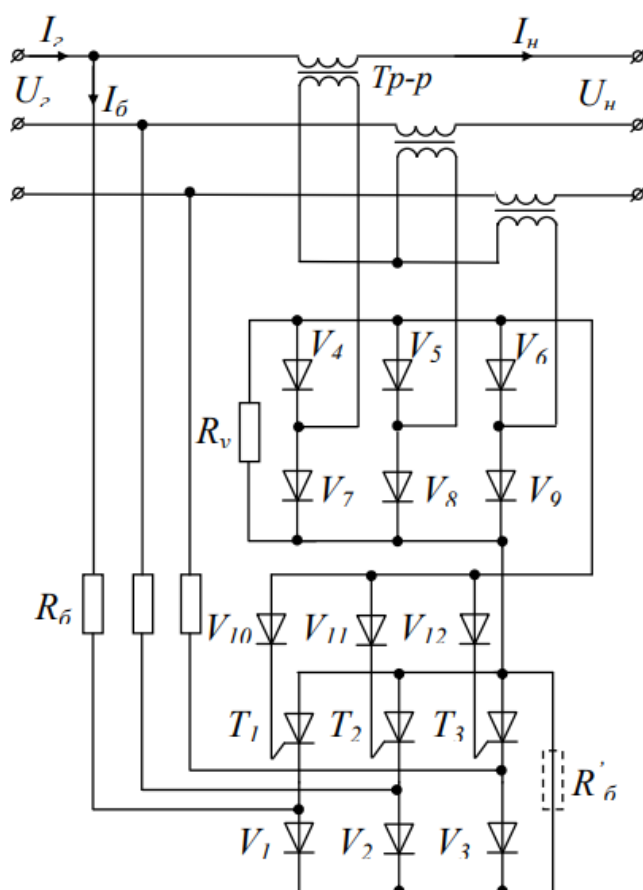


Рисунок 1.8 – Схема електрична принципова регулятора автобаластного навантаження

В даному випадку використовується фазове керування. Керування кутами ввімкнення тиристорів Т1-Т3 здійснюється за допомогою керуючих випрямлячів V4-V9, що живляться від трансреактора Тр-р. Вихідна напруга трансреактора, пропорційні фазним струмам навантаження I_n , випрямляється та прикладається до резистора управління R_y . Напруга керування має запираючу полярність для діодів V10, V11, V12 тому, вони можуть відкриватися, включаючи тиристори Т1-Т3 коли лінійна напруга генератора буде більша за керуючу напругу на резисторі R_y . Тому, коли струм навантаження дорівнює нулю, напруга керування також дорівнює нулю і тиристори повністю відкриті, забезпечуючи максимальне споживання БН. При номінальному струмі I_n , тиристори зачинені і баласт відключений. Для будь-якого проміжного значення струму в схемі здійснюється фазове регулювання потужності баласта шляхом формування кутів керування тиристорів в результаті порівняння на резисторі R_y лінійної напруги генератора з напругою керування, пропорційного струму навантаження станції [0].

Так як системи з фіксованою швидкістю є більш дешевими, простими та надійними, тоді як операції зі змінною швидкістю можуть генерувати більшу гідравлічну потужність, ніж у випадку з фіксованою швидкістю. Технології змінної швидкості дозволяють покращити робочий процес в плані зменшення кавітаційних ефектів, зменшити гідроудари та оптимізувати перехідні процеси [0]. Оскільки однією з вимог проекту була максимальна дешевизна і практичність в такому випадку вибір падає на систему з фіксованою швидкістю.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження системи керування міні-ГЕС

Було прийнято рішення застосовувати систему керування засновану на автобаластному способі керування, так як вона дешевша та відповідає вимогам для автономної системи. В цьому випадку керування буде здійснюватися за двома каналами.

Перший канал – це регулювання частоти за допомогою зміни навантаження. Величина додаткового навантаження керується тиристорним регулятором, що складається з 6 тиристорів по два на кожну фазу. Вольтамперна характеристика тиристора зображена на рис. 2.1. Оскільки тиристор має гарну провідність при подачі на керуючий електрод напругу лише в одному напрямку (в зворотному напрямку як діод), то буде отримуватися лише половина потужності від системи змінного струму. Тому для кожної фази ці два тиристора з'єднуються паралельно один одному, зустрічно.

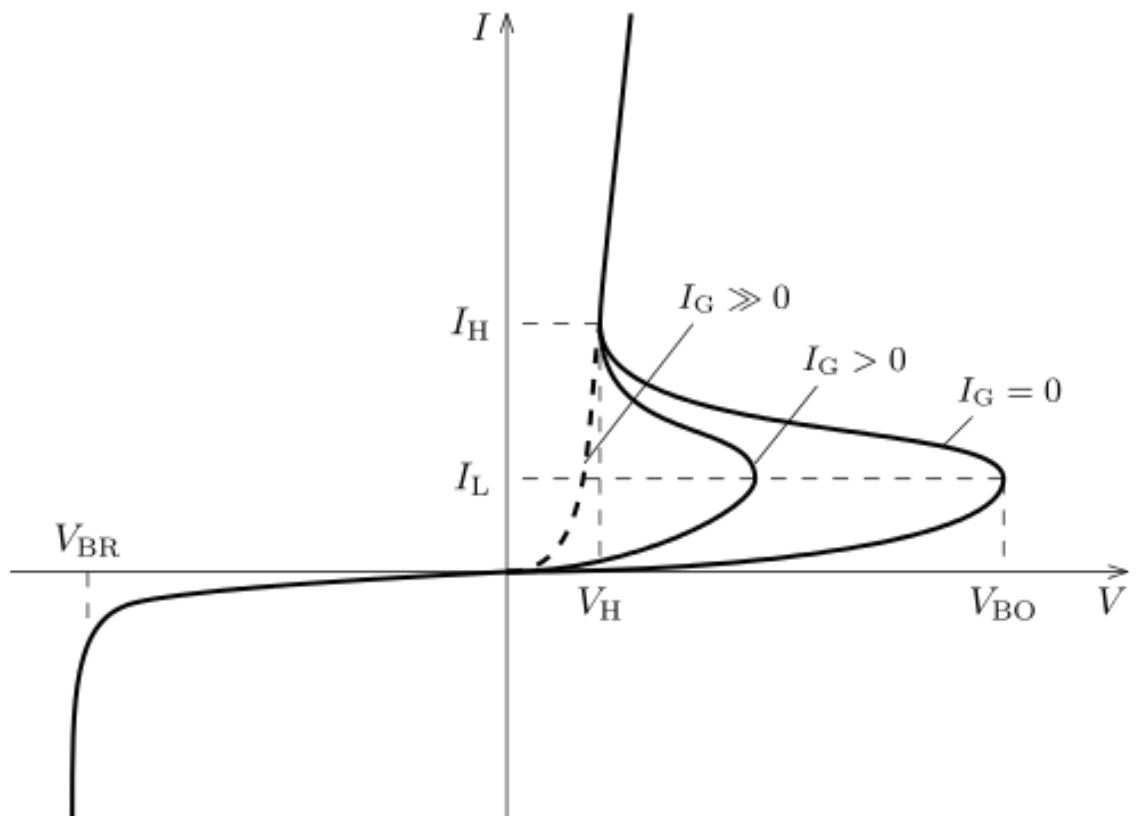


Рисунок 2.1 – Вольт-амперна характеристика тиристора

Тиристори керуються фазовим законом регулювання. Принцип роботи полягає в тому, що при подачі керуючого імпульсу на тиристор він відкривається та пропускає напругу додатного напрямку. При відключенні керуючого імпульсу тиристор не закривається. Закриття тиристора відбувається при відсутності напруги через тиристор. Оскільки напруга змінна, то це відбувається кожен період. При куті у 0° тиристор відкритий протягом усієї додатної хвилі синусоїди. Збільшення кута на 90° , означає, що керуючий імпульс надійде пізніше в часі і відносно синусоїди зсунеться на 90 електричних градусів. Через це, тиристор відкриється пізніше, а отже, пройде не повна потужність (лише половина синусоїди). На рис. 2.2 та рис. 2.3 зображено роботу одного тиристора при кутах 0° та 90° .

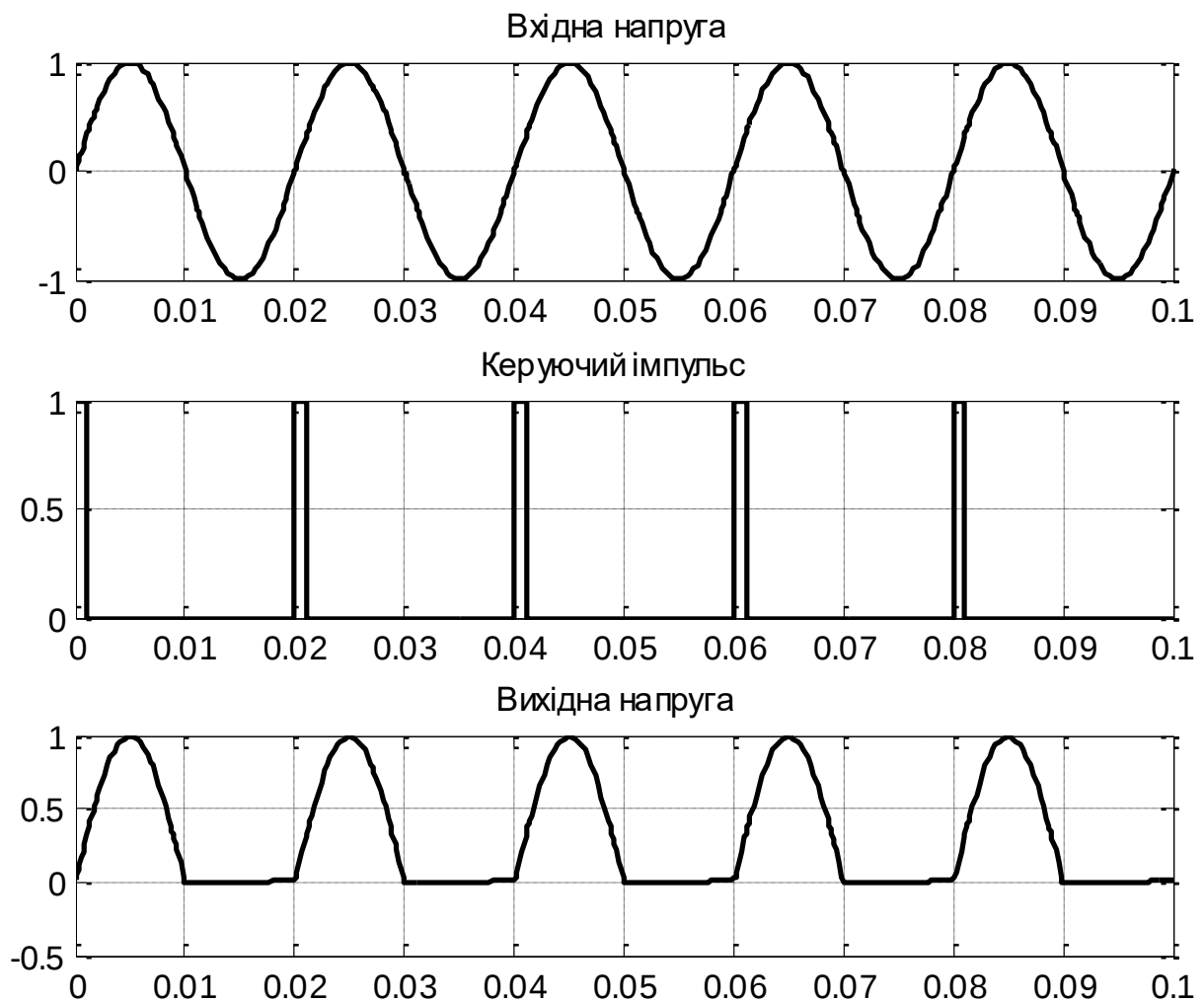


Рисунок 2.2 – Робота тиристора при куті в 0°

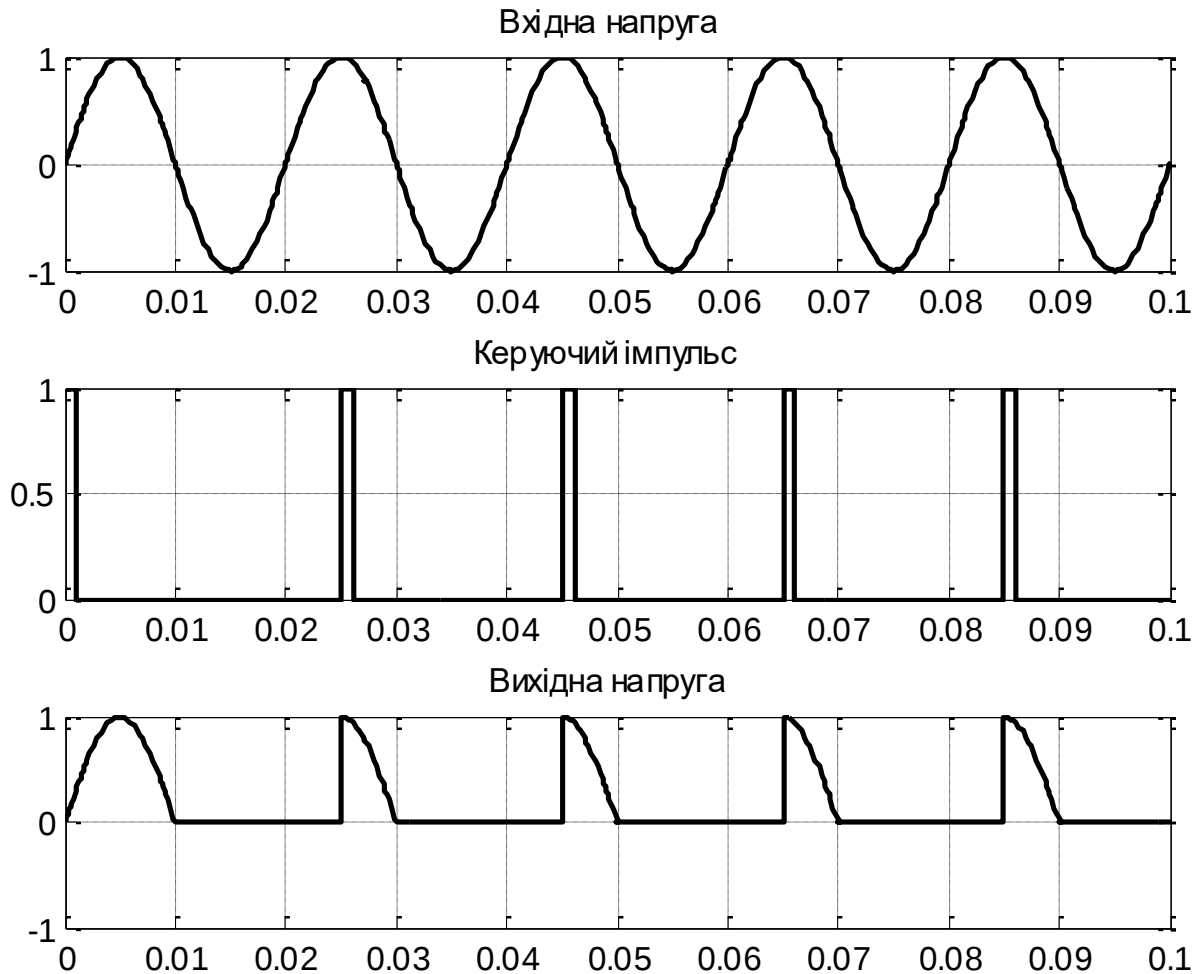


Рисунок 2.3 – Робота тиристора при куті в 90°

Для роботи під час від'ємної півхвилі аналогічно з додатною на протилежний тиристор подається імпульс який в залежності від кута відкриває тиристор в потрібний час.

Оскільки для трифазної системи напруги фаз А, В, С зміщені на 120° електричних градусів одна відносно одної, то і імпульси на кожний тиристор будуть зміщені відповідно до зміщення фази. Наприклад для кута керування в 0° будуть генеруватися точно в точках перетину нуля для кожної з трьох напруг, як це показано на рис. 2.4. Якщо кут буде збільшуватися, то імпульси будуть зсуватися на цей кут аналогічно як при роботі одного тиристора.

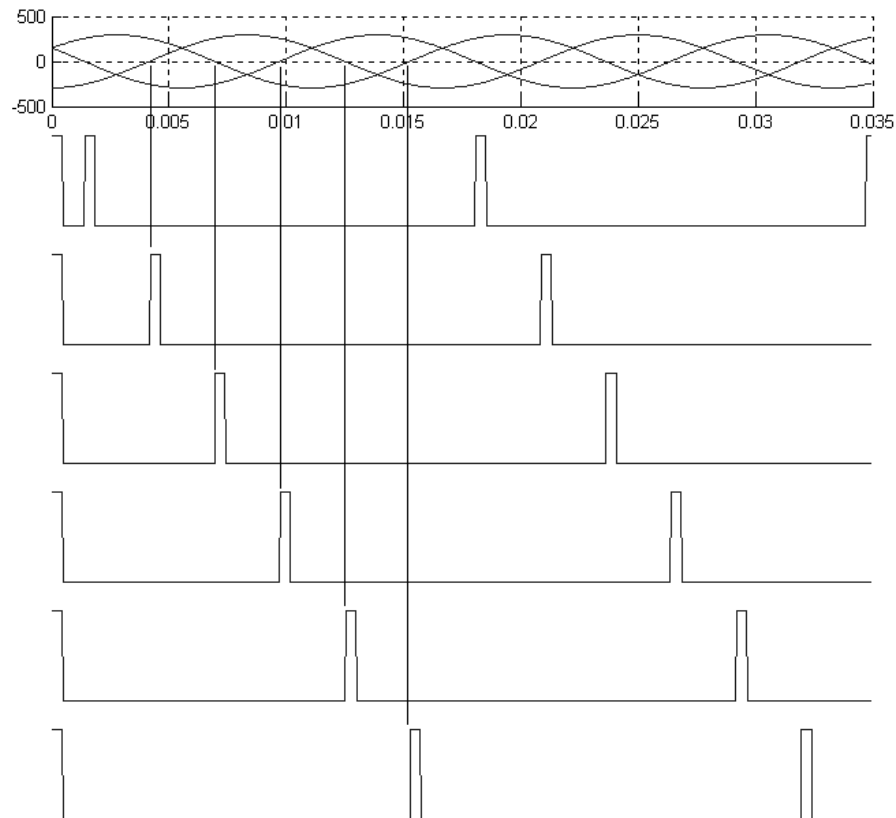


Рисунок 2.4 – Керуючі імпульси при куті керування 0° для трифазного перетворювача

При повному завантаженні генератора який працює на максимальне навантаження споживачів. В цей момент баластне навантаження відключене. Тобто керуючий кут 180° . Якщо якийсь споживач від'єднається, то струм генератора зменшиться. Потужність, що передає турбіна підтримується сталою. Це означає, що електромагнітний момент зменшиться, а момент від турбіни залишиться сталим. Тоді динамічний момент стане додатнім. Отже, виходячи з закону обертового руху, в такій ситуації ротор двигуна почне прискорюватися зі швидкістю $\frac{M_{дин}}{J}$. Частота згенерованої напруги за формулою $f = \frac{pn}{60}$, де n – швидкість обертання ротора в об/хв. Тоді, оскільки швидкість збільшиться, то і частота теж. Тому даний спосіб регулювання полягає в отриманні сигналу зворотного зв'язку по частоті та використовуючи ПІ-регулятор формувати кут керування для тиристорного регулятора. Тиристорний регулятор буде відкриватися в залежності від кута, збільшуючи

струм генератора, що проходить через баластні. При збільшенні струму буде збільшуватися електромагнітний момент, який в генераторі є моментом навантаження, і відповідно, швидкість почне стабілізуватися. Завдяки інтегральній складовій регулятора швидкість повернеться до заданого значення. Тиристри будуть відкриті доти, доки не збільшиться струм споживання, в залежності від величини просідання частоти, кут буде збільшуватися.

Другий канал здійснює регулювання за напругою. Керування будується на залежності напруги на клеммах статора від напруги збудження. В номінальному режимі при максимальному навантаженні від споживачів на обмотку збудження подається номінальна напруга. При відключенні великої кількості споживачів, напруга виростає. Суть цього керуючого каналу, полягає у тому, щоб, використовуючи зворотній зв'язок за напругою, за допомогою керованого тиристорного мостового перетворювача, що перетворює змінний струм в постійний як показано на рис. 2.5 та рис 2.6, зменшити напругу збудження, що в подальшому призведе до зменшення напруги на клеммах обмотки статора.

Постійну напругу, що буде поступати на обмотку генератора, можна визначити за формулою:

$$U_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U \cos \beta \quad (2.1)$$

Для кожного з каналів керування буде використовуватися ПІ-регулятор.

Система, що описує керування по частотному каналу:

$$\begin{aligned} \tilde{f} &= f^* - f; \\ x_f &= k_{if} \tilde{f}; \\ \beta_f &= 180 + k_f \tilde{f} + x_f, \end{aligned} \quad (2.2)$$

Де f^* – задане значення частоти напруги генератора;

f – частота напруги генератора;

k_f, k_{if} – пропорційний та інтегральний коефіцієнт ПІ-регулятора частоти відповідно.

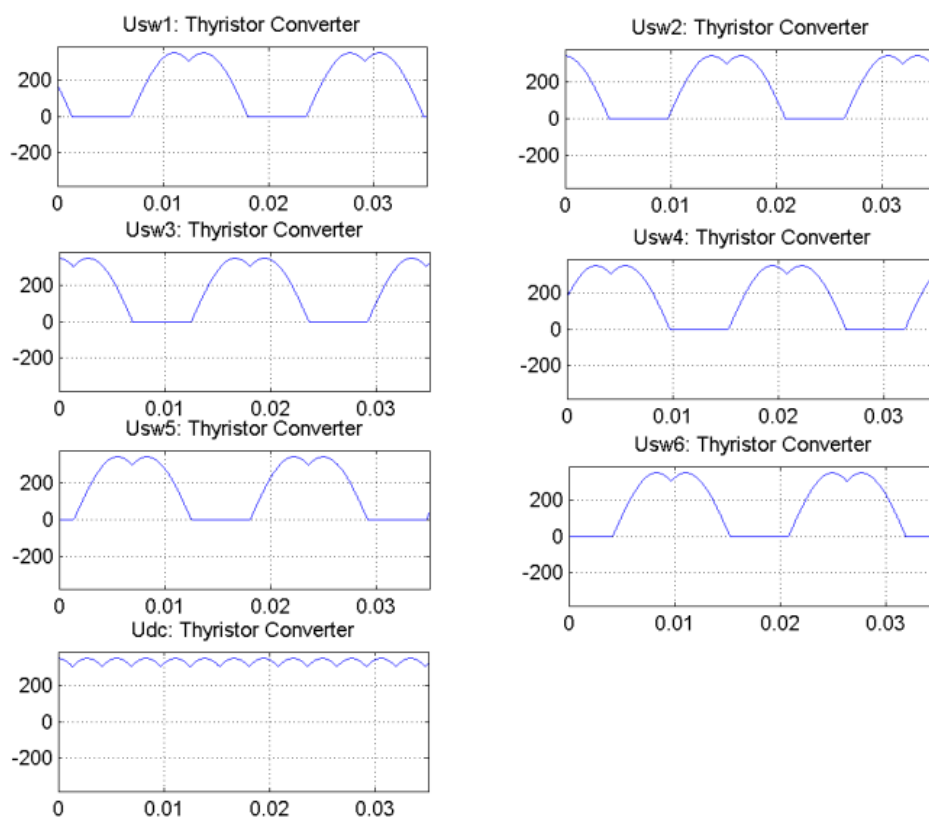


Рисунок 2.5 – Напруга на тиристорах та вихідна напруга при куті 0°

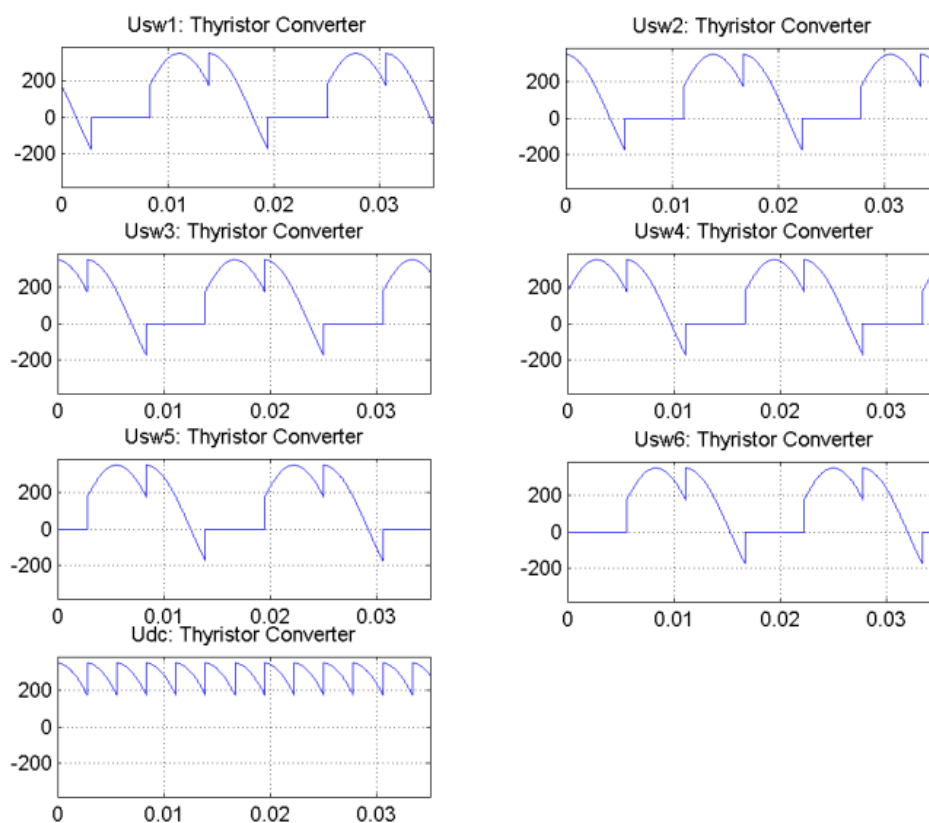


Рисунок 2.6 – Напруга на тиристорах та вихідна напруга при куті 30°

Система, що описує керування по каналу напруги:

$$\begin{aligned}\tilde{U} &= U^* - U; \\ x_u &= k_{iu}\tilde{U}; \\ \beta_u &= k_s + k_u\tilde{U} + x_u,\end{aligned}\tag{2.3}$$

де k_u, k_{iu} – пропорційний та інтегральний коефіцієнт ПІ-регулятора напруги відповідно.

$$k_s = \arccos\left(\frac{\pi \cdot U_{fn}}{3 \cdot \sqrt{2} \cdot U_\phi}\right).$$

Для виходу з ПІ-регулятора каналу частоти встановлене обмеження від 0 до -180, оскільки кут можна регулювати лише в цих межах. Для регулятора частоти доданий доданок 180, оскільки в початковому положенні тиристори повинні бути зачиненими, а саме цьому значенню кута відповідає закритий стан тиристорів. Для виходу ПІ-регулятора каналу напруги встановлене обмеження від $-k_s$ до $-k_s + 180$. Доданок $-k_s$ необхідний, щоб в початкове значення забезпечувати номінальну напругу збудження.

2.2 Дослідження статичних та динамічних характеристик

На рис. 2.7 показані перехідні процеси напруги навантаження, струму навантаження та струму баластного навантаження при скиданні та накиданні 40% навантаження. Для моделювання, коефіцієнти ПІ-регулятора по першому каналу були прийняті: пропорційний – 150, інтегральний – 11250. Похибка залежить від величини коефіцієнтів регулятора. При більшому значенні коефіцієнтів, похибка становиться меншою. Але більші значення коефіцієнта підсилення регулятора без каналу керування обмотки збудження генератора можуть викликати великі струмові перевантаження якірної обмотки. Це пояснюється нелінійною залежністю від керуючого кута. При невеликих відхиленнях навантаження з великим пропорційним коефіцієнтом може викликати підключення такого баластного навантаження, що струм генератора стане більшим за номінальний [7].

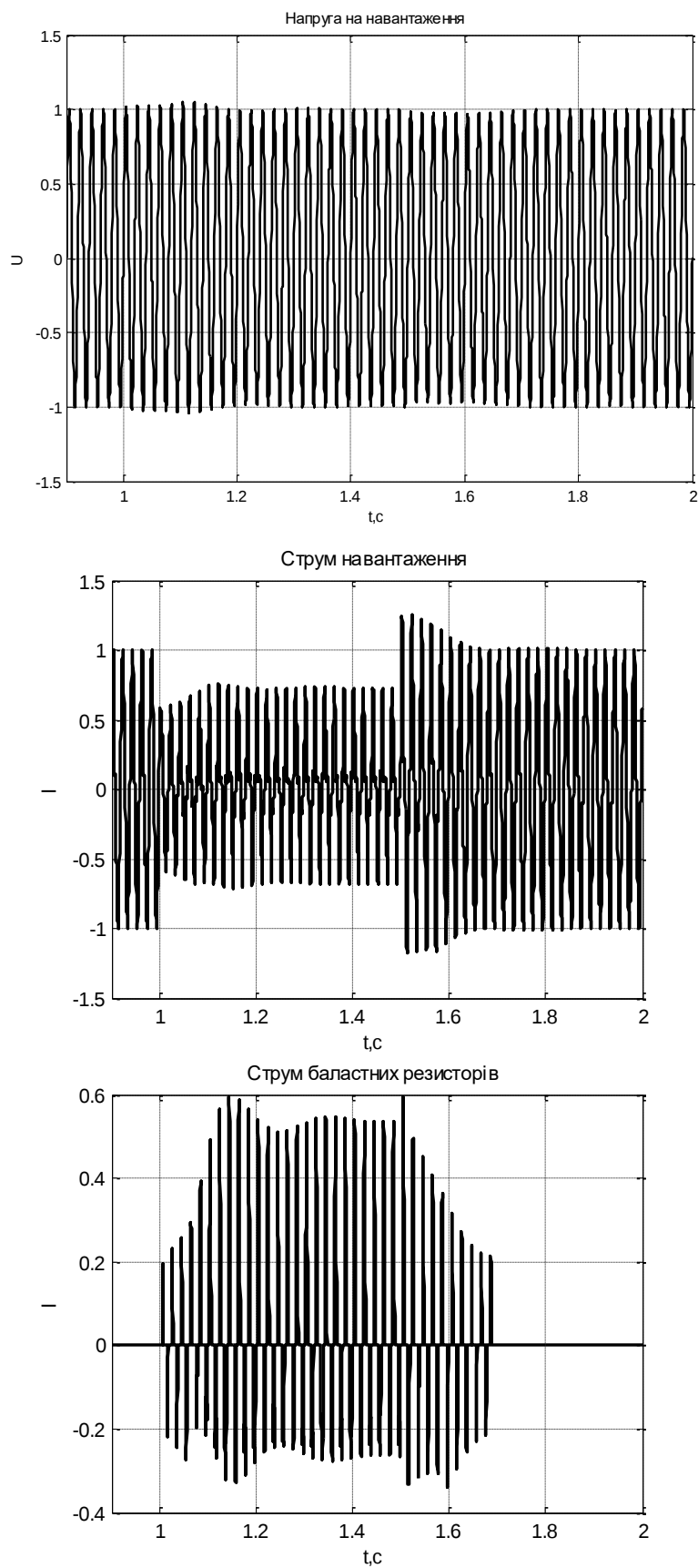


Рисунок 2.7 – Перехідні процеси при скиданні та накиданні 40% активного навантаження станції

Баластне навантаження складає 60% від максимального навантаження споживачів. Оскільки в даному разі забезпечується однакова величина активної потужності, що споживається при холостому ході станції, де струм навантаження дорівнює 0 та в номінальному режимі, де струм баластного навантаження дорівнює 0.

За рахунок інерції двигун, частота при даному досліді фактично не змінюється. Збільшення моменту інерції обертаючих мас ще більше збільшити динамічну стійкість системи. *Суть регулювання* - це забезпечення постійним електромагнітний момент станції. Зміна еквівалентного навантаження призводить до зміни амплітудного значення напруги.

При дослідженні навантаження скидається в 1 секунду і накидається через 0.5 секунди. За початкові умови прийнято те, що генератор запустився та працює в усталеному режимі, при номінальному струмі та з підключеним до нього максимального навантаження споживачів, що далі приймається за його номінальну роботу.

В статичному режимі при номінальному навантаженні напруга дорівнює номінальній, кут керування тиристорами дорівнює 180° – вони повністю закриті та струм не проходить. При відключенні частини споживачів, струм, що споживання зменшився і напруга виросла. Збільшення напруги викликало помилку за напругою і ПІ-регулятор почав зменшувати кут керування вентилями. Струм почав проходити через баластні резистори, напруга почала спадати. В системі присутнє перерегулювання при відпрацюванні помилки.

Це пов'язано із співвідношенням коефіцієнтів $k_i = \frac{k_n^2}{2}$. При накиданні навантаження напруга спадає. Це призводить до подання сигналу про збільшення кута закриття тиристорів і зменшення струму в баластному навантаженні. В даному випадку, оскільки було повернено навантаження до номінального значення, то тиристори повністю закриті. Якщо навантаження менше ніж номінальне, то тиристори закриваються неповністю.

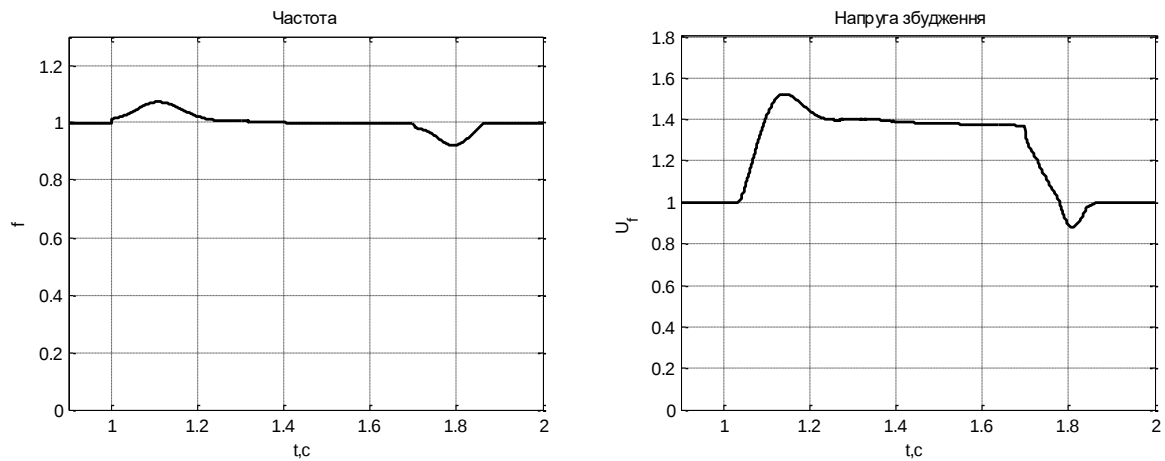
Виходячи з графіків перехідних процесів можна скласти якості процесів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Показники якості процесу при скиданні 40% навантаження

Показник якості	Значення
Статична помилка, %	0
Перерегулювання, %	3
Час перехідного процесу, с	0.18
Максимальне відхилення від номінального значення, %	7

Виходячи з значень показників якості, можна сказати, що система при зміні навантаження на 40% задовольняє вимоги, які були сформовані для якості згенерованої електроенергії.

Далі дослідимо перехідні процеси при відключенні 100% споживачів. При скиданні 100% навантаження відбувається зміна параметрів напруги та частоти (рис. 2.8). Частота, у зв'язку з наявністю інерції, спочатку відбувається стрибок напруги. Тоді приходить сигнал на відкривання баластного навантаження. Оскільки величини баластного навантаження недостатньо, то струм генератора менший за номінальний, а отже і електромагнітний момент. Тоді починається змінюватися частота і вступає в дію канал регулювання частоти. Збільшується напруга збудження, що призводить до збільшення електромагнітного моменту, що зменшує швидкість обертання і повертає її до номінального значення. Оскільки частота залежить від швидкості, то вона теж стабілізується. При підключенні навантаження, електромагнітний момент збільшується, частота та напруга падають. Баласт відключаються, напруга збудження зменшується та повертається до номінального значення.



1. Рис. 1.16 – Перехідні процеси при скиданні та накиданні 100% навантаження станції

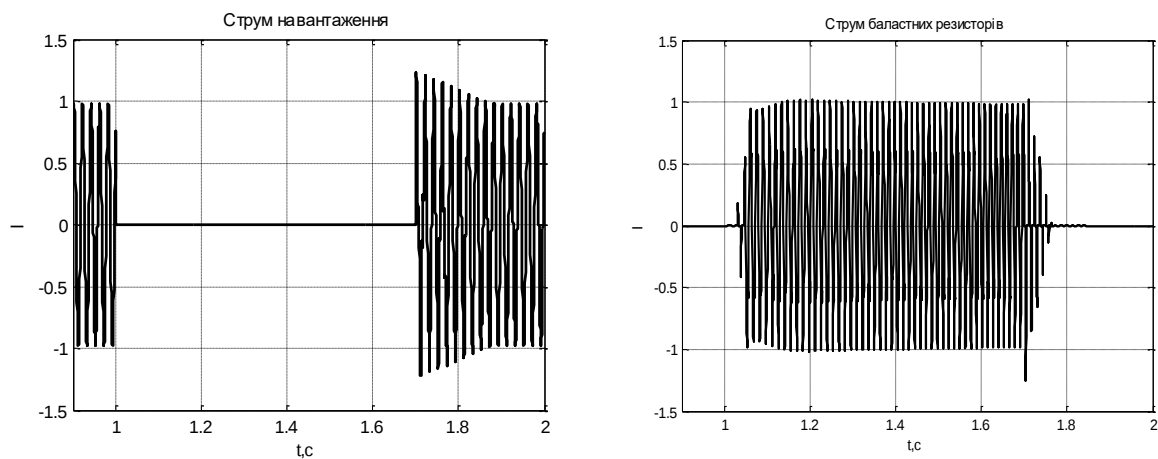


Рис. 1.16 – Перехідні процеси при скиданні та накиданні 100% навантаження станції

В даному випадку час перехідного процесу становить 0.23 секунди і максимальне відхилення частоти від номінального значення складає 9%.

При регулюванні збудження, датчик має мати зону нечутливості 4-6%. Вона необхідна для того, щоб збільшити статичну точність при зміні коефіцієнта потужності генератора або навантаження.

При скиданні 40% корисного навантаження, система збільшує струм, що проходить через баласт, тим самим регулює напругу на навантаженні. Перехідний процес закінчився через 0.18 секунд, а максимальне відхилення від номінального значення склало 7%. Ці значення задовільняють поставлені вимоги

При скиданні 100% керування за допомогою баластних опорів не справляється, тоді підключається система що керує збудженням генератора. Перехідний процес триває 0.23 с, максимальне значення похибки за частотою складає 9%. Ці значення відповідають поставленим умовам.

Виходить, що система керування справляється з регулюванням напруги та частоти в усьому діапазоні зміни навантаження. Отже вона підходить для встановлення. [8].

2.3 Розрахунок струму баластного навантаження та підбір регуляторів

Для забезпечення якісних динамічних характеристик рекомендується потужність струмового баласту 60% від сумарної потужності генератора 50 кВт, оскільки можливі режими, коли навантаження майже або взагалі відсутнє. Тому потужність, яку повинен розсіяти баласт, буде рівна:

$$P_b = 0.6 \times P_g = 0.6 \times 50 = 30 \text{ кВт} \quad (2.4)$$

Для розрахунку струму, що буде проходити через баластне навантаження, візьмемо випадок, коли уся потужність розсіюється на баласті. Тоді струм, що проходитиме через баласт, буде рівний:

$$I_b = P_b / 1.73 \times U = 30000 / 1.73 \times 400 = 43.35 \text{ А} \quad (2.5)$$

Наступним буде вибір тиристора. Так як струм що, буде протікати через тиристор, буде дорівнювати струму, що протікає через баласт, то знайдемо значення необхідного номінального струму тиристора:

$$I_T = 1.41 \times I_b \times K_z = 1.41 \times 43.35 \times 1.2 = 73 \text{ А.} \quad (2.6)$$

де K_z – коефіцієнт запасу.

Мінімальна напруга буде рівною:

$$U_{\min} = \frac{U\sqrt{3}}{2} = \frac{400\sqrt{2}\sqrt{3}}{2} = 489 \text{ В} \quad (2.7)$$

Отже, виходячи з розрахованих параметрів обираємо тиристорний регулятор РЕНАП-3Т-100 (рис. 2.9).

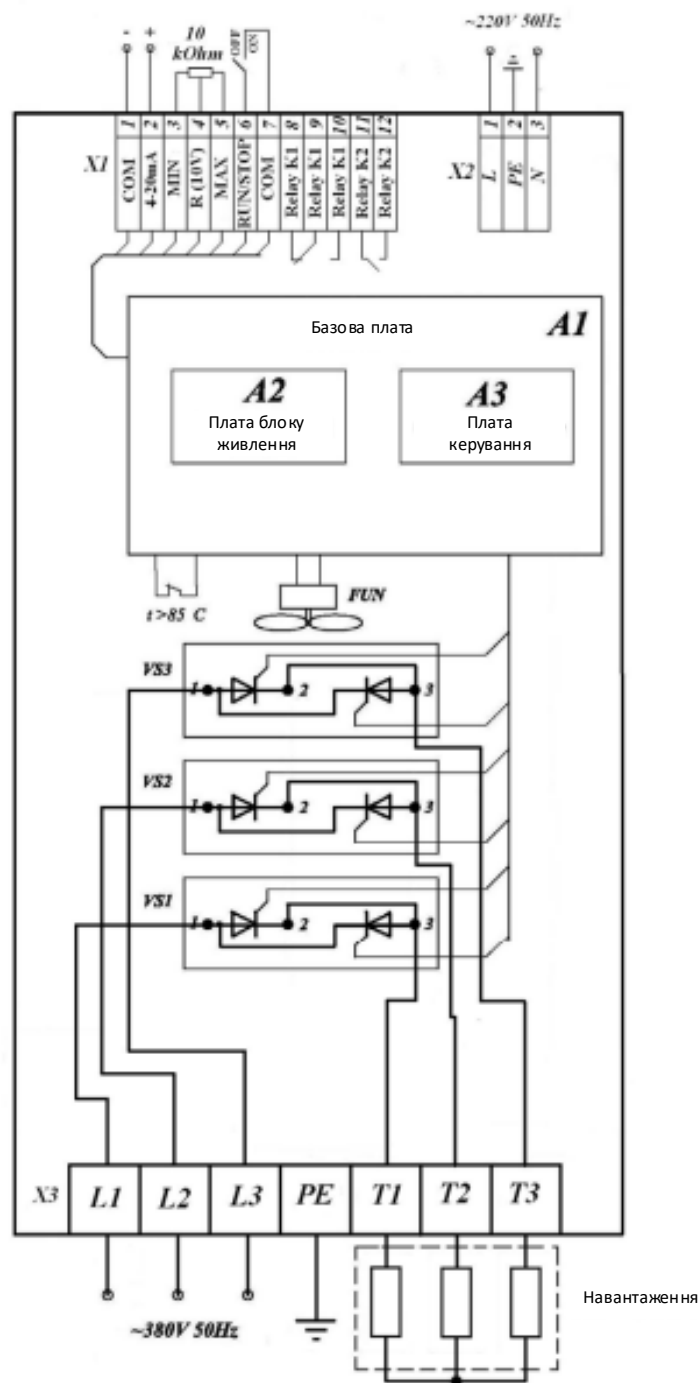


Рисунок 2.9 – Схема зовнішніх з'єднань регулятора РЕНАП-3Т-100

Даний регулятор побудований на основі модулів SKKT150/16e, що можуть витримувати зворотню напругу у 1600В. Модуль складається з двох тиристорів. Даний регулятор може використовуватися для керування актив-

ними та індуктивними навантаженнями, саме таким і являється наше балатне навантаження. Параметри регулятора наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні технічні дані регулятора РЕНАП-3Т-100

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	380
Номінальна частота, Гц	50
Число фаз	3
Максимальний вихідний струм, А	100
Діапазон напруги керування,	0...10
Діапазон струму керування	4...20
Робочий діапазон регулювання напруги, %	1...100

Для обмотки збудження синхронного генератора, в якості регулятора трифазного трансформатора візьмемо RENAP3V.10.18A. Даний регулятор є керованим тиристорним мостом. Основні технічні параметри регулятора наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні технічні дані регулятора RENAP3V.10.18A

Параметр	Значення
Номінальна напруга, В	380
Номінальна частота, Гц	50
Число фаз	3
Максимальна випрямлена напруга, В	515
Максимальний вихідний струм, А	25
Діапазон напруги керування,	0...10
Діапазон струму керування	4...20
Робочий діапазон регулювання напруги, %	1...100

Для вибору трансформатора необхідно визначити потужність обмотки збудження. Вона буде рівною:

$$S = 1.73 \times U \times I = 1.73 \times 23\text{В} \times 160\text{А} = 7197 \text{ ВА}$$

Виходячи з значень необхідної напруги та потужності, що повинен передавати трансформатор, обираємо ТСЗІ-10.4. Параметри трансформатора наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні технічні параметри трансформатора ТСЗІ-10.4

Параметр	Значення
Номінальна первинна напруга, В	380
Номінальна вторинна напруга, В	36
Номінальна частота, Гц	50
Число фаз	3
Номінальна потужність, ВА	10000
Вага, кг	80

Напруга на вторинній обмотці взята вищою, оскільки необхідно забезпечити регулювання нею.

З ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка та концепція автономної системи управління ГЕС

Внаслідок нападу агресивної росії у лютому 2022 року та початку знищення ворогом енергосистеми України почалися непрогнозовані відключення енергії від споживачів. До мене, як фахівця з систем управління ГЕС (ПП «Променергія», директор Хоміцький Олег), звернувся Бучацький міський голова Фреяк В.Й. попросив допомогти забезпечити локальне енергоживлення об'єктів критичної інфраструктури а саме: будівлю Бучацької міської ради, відділ поліції та відділ первинної медечини (ПМЗД), всі об'єкти знаходяться безпосередній близькості один від другого і рівновіддалені від об'єкта генерації ГЕС «Топольки».

Прорахувавши критично необхідну потужність споживання орієнтовно 30 кВт, розподіл потужності відбувся наступним чином:

1. Бучацька міська рада - 26 кВт.
2. Відділ первинної медицини - 2кВт.
3. Відділ поліції - 2кВт.

Першим етапом був вибір гідроагрегату ГЕС «Топольки» по роботі в автономному режимі. По потужності самим оптимальним підходить горизонтальний гідроагрегат №2 потужністю 50 кВт.

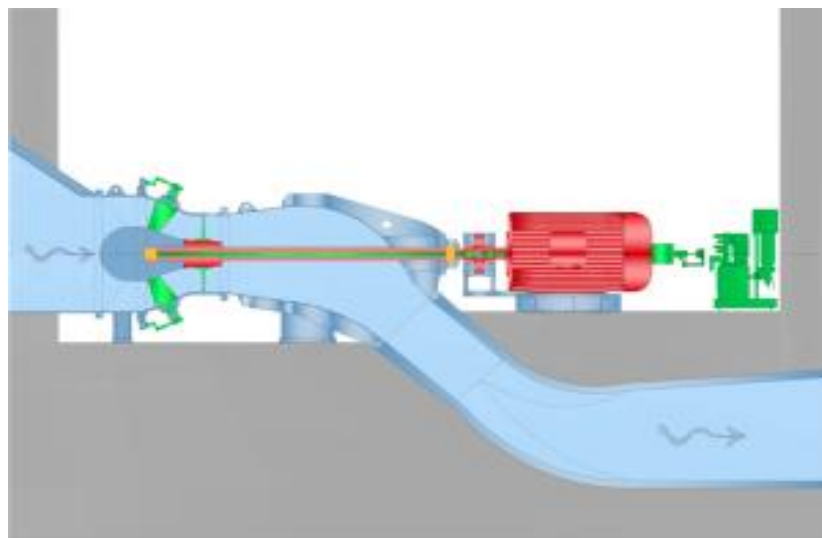


Рисунок 3.1 - Схема гідроагрегату №2 50 кВт

Потужність гідротурбіни визначається за виразом:

$$P_m = m_0 \cdot Q \cdot H \cdot \eta, \quad (3.1)$$

де m_0 – питома вага одиниці об'єму води $(\text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2)/\text{м}^3$;

Q – витрати води $\text{м}^3/\text{с}$;

H – робочий напір, м ;

η – коефіцієнт корисної дії турбіни.

Потужність та частота обертання гідротурбіни визначають розрахункову потужність генератора, його масу, габаритні розміри та вартість. Ці параметри пов'язані між собою співвідношенням [6]:

$$\frac{d^2 \cdot l_\delta \cdot \omega}{S} = k_p \frac{1}{A \cdot B_\delta}, \quad (3.2)$$

де d – внутрішній діаметр статора електричної машини, м ;

l_δ – розрахункова довжина повітряного проміжку, м ;

S – розрахункова повна потужність, ВА ;

ω – частота обертання, с^{-1} ;

A – лінійне навантаження, Н ;

B_δ – магнітна індукція в повітряному проміжку, Тл ;

k_p – коефіцієнт пропорційності, $\text{м}^2 \text{Тл}$.

Об'єм генератора, що характеризується добутком $d^2 l_\delta$ визначається частотою обертання ω при відносно постійних значеннях розрахункової потужності та електромагнітних навантажень. Завдяки чому, швидкохідні гідротурбіни дозволяють використовувати генератори з відносно невеликими масогабаритними показниками та низькою вартістю.

Рівняння руху системи «гідротурбіна – генератор» має вигляд:

$$M_t = M_g + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.3)$$

де M_t – механічний момент гідротурбіни, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

$M_g, H \cdot м$ – момент опору генератора, $H \cdot м$

$J, кг \cdot м^2$ – момент інерції.

Статична стійкість системи та похибка стабілізації частоти її обертання визначаються сумарним коефіцієнтом саморегулювання:

$$e_{\Sigma} = e_g - e_t, \quad e_g = \frac{dM_g}{d\omega} \cdot \frac{M_{gn}}{\omega_n}, \quad e_t = \frac{dM_t}{d\omega} \cdot \frac{M_{tn}}{\omega_n}, \quad (3.4)$$

де e_g, e_t – коефіцієнти саморегулювання генератора та гідротурбіни відповідно, $H^2 \cdot м^2 / с^{-2}$;

M_{gn}, M_{tn} – номінальні моменти генератора та гідротурбіни, $H \cdot м$;

ω_n – номінальна частота обертання, $с^{-1}$.

Для стійкої роботи системи сумарний коефіцієнт саморегулювання повинен мати додатне значення.

Розрахунок та оптимізація описаних вище параметрів дозволяють підвищувати енергоефективність обладнання ГЕС, проте також це можна робити за допомогою методів керування параметрами системи та при використанні технічних засобів, що дозволять покращити якість регулювання електричних і технологічних параметрів із забезпеченням заданих вимог до електромагнітної сумісності з навантаженням.

Другим етапом була продумана інтеграція автономної системи управління гідроагрегатом в діючу робочу схему управління гідроагрегатом який працює в паралель з енергосистемою (рис. 3.1) Було поставлено задачу максимально використати обладнання діючої ГЕС з мінімальними конструктивними змінами схеми.



Рисунок 3.2 - Система управління автономною ГЕС

Автономна система управління ГЕС була виготовлена та введена в експлуатацію у плідній співпраці з НТФ ТОВ «ТЕМС», м. Київ (директор Олег Зайченко).

Третім етапом реалізації автономної системи енергоживлення був проектування та розрахунок незалежної повітряної лінії до об'єктів критичної інфраструктури (рис. 3.3).

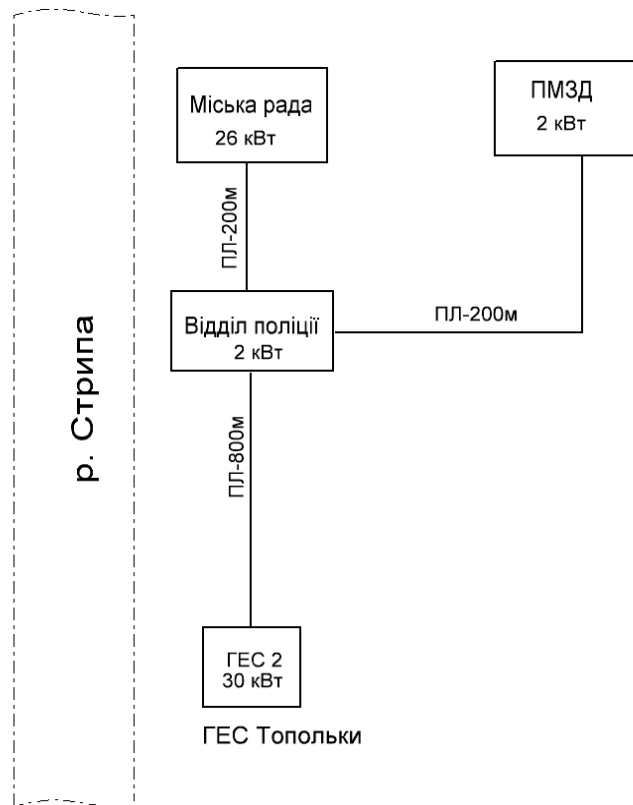


Рисунок 3.3 - Однолінійна схема мікроенергоострова об'єктів Буцацької міської ради

3.2 Комплексне функціонування системи управління ГЕС

Автономна система управління ГЕС складається з:

- модуля регулювання та стабілізації напруги генератора, яка регулює струм збудження генератора;
- акумулятора стартового збудження 12 В;
- трансформаторного трифазного випрямляча, який живить обмотку збудження генератора;

- модуля регулювання та стабілізації частоти генератора, який регулює струм баластного навантаження; баластного навантаження 30 кВт.

Робота автономної системи управління ГЕС починається при повному «блекауті» енергомережі з стартового збудження генератора від акумулятора, що дозволяє заживити трифазний випрямляч чим зациклити систему автономного трансформаторного збудження. Регулюванням направляючим апаратом турбіни ми збільшуємо подачу води на турбіну чим досягаємо достатньої напруги на шинах обмотки статора, яка регулюється до номінальної, ця операція здійснюється в ручному режимі. Наступною дією виставляється задання напруги на ПД регуляторі 400 В і систему переводим в автоматичний режим стабілізації напруги (рис. 3.4). Другим етапом є завантаженням генератора баластом, це досягається підключенням модуля стабілізації частоти з баластом до генератора, при цьому необхідно поступово збільшувати вручну кут відкриття тиристорного регулятора та пропорційно збільшувати подачу води на турбіну. Коли буде досягнуте значення частоти 50 Гц систему перевести на автоматичний режим стабілізації частоти. Система готова до підключення споживачів з не пргнозованою потужністю. При підключенні споживачів до автономної енергосистеми відбувається часткове падіння напруги на що реагує система стабілізації напруги збільшуючи струм збудження генератора способом відкриття кута тиристорного регулятора трансформаторного збудника, чим стабілізується вихідна напруга генератора. Також відповідно реагує система стабілізації частоти, при збільшені зальної споживаної потужності в автономній мережі зменшується частота, система стабілізації частоти відповідно реагує та здійснює перерозподіл потужності від баласту до споживачів способом зменшення кута відкриття тиристорного регулятора баласту.

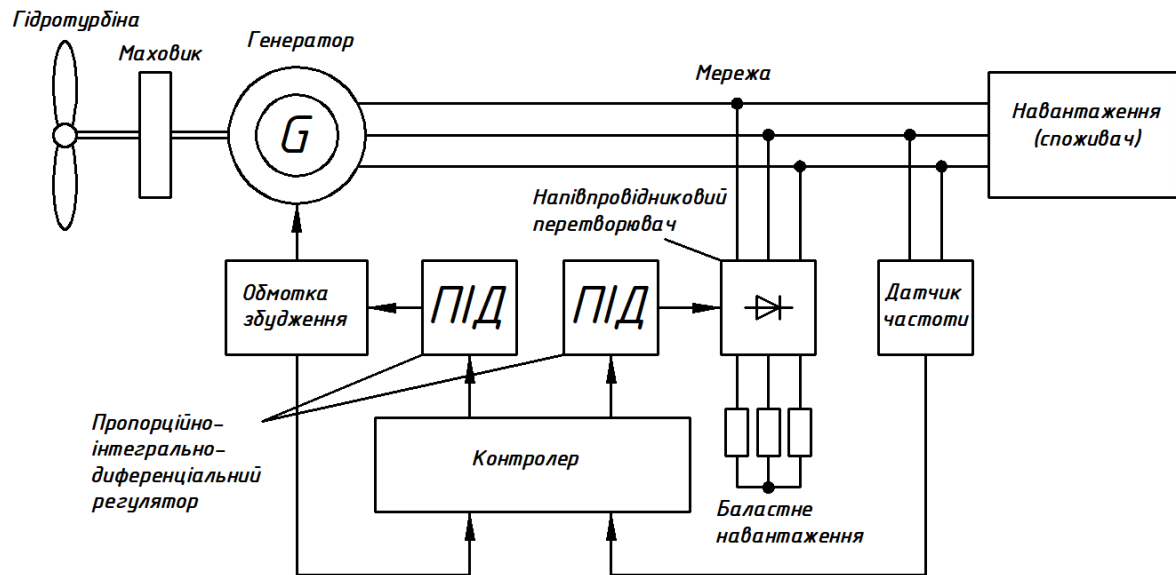


Рисунок 3.4 - Функціональна схема системи автономного живлення.

Застосування комбінованого двоконтурного керування на основі класичних законів регулювання дозволяє налаштовувати систему на необхідний оптимальний режим роботи незалежно від навантаження і зовнішніх збурень, забезпечує високу стабільність заданої величини частоти напруги генератора, що не перевищує 0,1 Гц, мінімальний час перехідного процесу та мінімальне значення амплітуди коливань при зміні навантаження та зовнішніх збуреннях. А також, зменшення рівня нелінійних спотворень напруги і струму, завдяки роботі тиристорного перетворювача на максимально можливих кутах відкривання. Значення загального коефіцієнта гармонік при цьому в рази менше в порівнянні використання способу стабілізації частоти за допомогою тиристорних перетворювачів для регулювання величини баластного навантаження.

Промислові дослідження, проведені ПП «ПРОМЕНЕРГІЯ» на базі ГЕС «Топольки» (м. Бучач) показали, що застосування запропонованого пристрою стабілізації напруги та частоти генератора автономної мережі живлення дозволяє забезпечити:

- високу стабільність та точність заданої величини;
- мінімальний час перехідного процесу;

- мінімальне значення амплітуди коливань при зміні навантаження і зовнішніх збуреннях;
- зменшення рівня нелінійних спотворень напруги і струму;
- спростити схемотехніку тиристорного перетворювача та відсутність опорів під'єднаних послідовно з навантаженням.

Застосування логічного контролера управління, дозволяє спростити структуру побудови системи керування та процес налаштування її параметрів.

3.3 Модуль регулювання і стабілізації напруги генератора

Вибір основних комплектуючих здійснювався по принципу відповідності за наступними критеріями: надійність, достатня функційність, оптимальна ціна та національний виробник. Цим вимогам найбільше підходять силові регулятори струму НТФ ТОВ «ТЕМС» (м. Київ) та ПД регулятори ТОВ «Мікрол» (м. І. Франківськ) та інше обладнання. На рис. 3.5 приведено зовнішній вигляд модуля стабілізації напруги генератора, а на рис. 3.6 - принципову схему модуля напруги генератора приведена



Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд модуля стабілізації напруги генератора

Модуль стабілізації напруги генератора складається з таких компонентів:

- тиристорного модуля RENAP3V.10.18A;
- ПІД-регулятора мікропроцесорного МІК-311-К11;
- акумуляторного зарядного пристрою ВС-125;
- індикатор частоти DV-0101;
- датчика струму LA-200P.

3.4 Мікропроцесорний ПІД-регулятора МІК-311

Регулятор МІК-311-К11 являє собою новий клас сучасних цифрових регуляторів безперервної дії з аналоговим та/або дискретним виходом та дозволяє забезпечити високу точність підтримки значення вимірюваного параметра (рис. 3.7). Відмінною особливістю регулятора МІК-311-К11 є наявність трирівневої гальванічної ізоляції між входами, виходами і колом живлення. Регулятор призначений як для автономного, так і для комплексного застосування в АСУТП в енергетиці, металургії, хімічній, харчовій та інших галузях промисловості і народному господарстві.



Рисунок 3.7 - Зовнішній вигляд ПІД-регулятора МІК-311-К11

Функції регулятора МІК-311-К11:

- вимірювання контрольованого вхідного фізичного параметра (температура, тиск, витрата, рівень і т.п.), обробки, перетворення і відображення

його поточного значення на вбудованому чотирирозрядному цифровому індикаторі,

- формування вихідних аналогових або імпульсних сигналів керування зовнішнім виконавчим механізмом, забезпечуючи аналогове, імпульсне або позиційне регулювання вхідного параметра по П, ПІ, ПД або ПІД закону відповідно до заданої користувачем логікою роботи і параметрами регулювання,
- формування вихідних сигналів технологічної сигналізації за допомогою індикаторів на передній панелі.

Параметри програмування ПІД регулятора МІК-311-К11

Встановити задане значення:

1. Кнопкою "ENT" вибрати ЗАВД (замість out).
2. Кнопкою "MNU" (поки не почне блимати).
3. Стрілками встановити

Зайти в програмування:

1. Кнопка "ENT".
2. Ввести пароль 0001.

Після внесення змін зберегти в пам'ять:

1. Вибрати MEM.
2. Ввести пароль 0001.

Параметри:

1. Ctrl (Загальні налаштування)
 - 00 MODE=0001
 - 01 KP=1,6
 - 02 T1=0
 - 03 Td=50
 - 05 SP-H=200 (помилка контролеру!)
 - 06SP-L=0
2. АГ (Аналоговий вхід)
 - 00 TYPE=0001

02 BEGN=0

03 RANG=200

3. TRSM (Дискретні входи та аналогового виходу)

00 AOSC=000

01 AO H=200

02 AO L=0

05 I 1=0001

3.5 Трансформаторний трифазний випрямляч

Трансформаторний трифазний випрямляч складається з (рис. 3.8):

- вхідного трифазного автоматичного вимикача 25А;
- понижаючого трансформатора 400/20В потужністю 10 кВА;
- трифазного діодного моста 250А;
- вимірювального шунта;
- тиристорної системи автоматичного «гасіння поля».

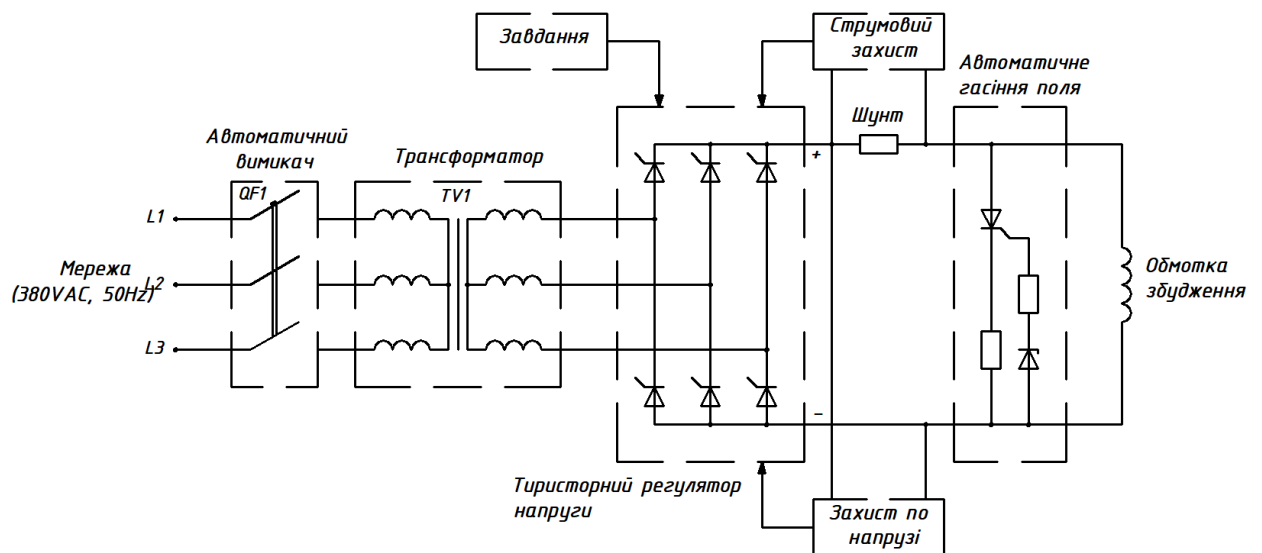


Рисунок 3.8 - Силовая схема трифазного выпрямителя

3.6 Тиристорний модуль РЕНАП-3Т-100

Регулятори призначені для живлення змінним струмом, величина якого регулюється, активних та активно-індуктивних навантажень, виконуються у вигляді блоків, що вбудовуються в інші вироби, і можуть бути використані як виконавчі пристрої в системах автоматичного або ручного регулювання струму, потужності навантаження, наприклад струму в первинних обмотках трансформатора або у секціях ТЕН (рис. 3.9).

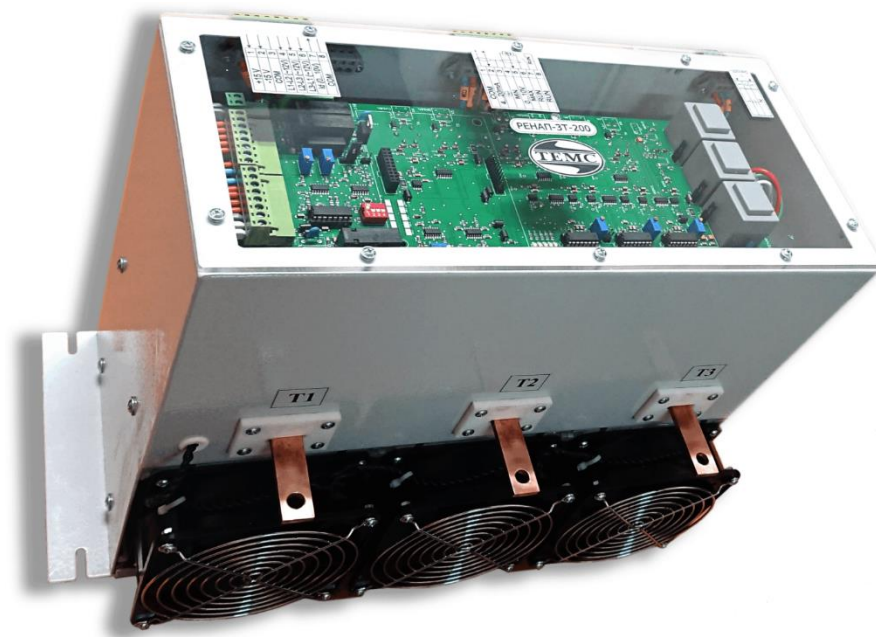


Рисунок 3.9 - Зовнішній вигляд тиристорного модуля RENA3V.10.18A

Номінальні характеристики регуляторів забезпечуються за таких кліматичних умов:

- висота над рівнем моря трохи більше 1000 м;
- робоче значення атмосферного тиску від 86,6 кПа (650 мм рт.ст.) до 106,7 кПа (800 мм рт.ст.);
- температура довкілля від 00С до +400С.

Основні технічні дані регуляторів:

- номінальна вхідна напруга $U_{вх}$, В – 380;
- номінальна вхідна частота, Гц – 50;
- число фаз мережі живлення – 3;

- максимальний вихідний струм, А – 25;
- робочий діапазон регулювання напруги, (% від $U_{вх}$) 5...100;
- діапазон зміни вхідного сигналу (напруга управління), В – 0...10;
- діапазон зміни вхідного сигналу (струм управління), мА – 4...20;
- опір змінного резистора завдання вхідного сигналу, ком – 10 ... 1,0;

Допустимі відхилення вхідної напруги від номінального значення – (+10...–15)%. Допустимі відхилення вхідної частоти від номінального значення – (+2...–2)%.

Управління регуляторами здійснюється дистанційно від змінного резистора завдання, аналоговим сигналом (0...10 В) або струмовим сигналом (4...20 мА).

Регулятори мають наступні захисти:

- від перевищення температури підкладки тиристорних модулів регулятора допустимого значення (теплове реле на поверхні радіатора);
- від короткого замикання ланцюга управління (запобіжник).

3.7 Частотомір АРМ-FREQ-АРО

Частотомір АРМ-FREQ-АРО являє собою новий клас сучасних цифрових регуляторів безперервної дії з аналоговим виходом 4-20 мА (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 - Зовнішній вигляд частотоміра АРМ-FREQ-АРО

Частотомір АРМ-FREQ-АРО дозволяє забезпечити високу точність значення вимірюваного частоти та перетворити в аналоговий сигнал. Відмінною особливістю. Частотомір АРМ-FREQ-АРО володіє наявністю трирівневої гальванічної ізоляції між входами, виходами і колом живлення.

В якості баластного навантаження був виготовлений трифазний електро-нагрівач катодного типу (рис. 3.11). Калібрування потужності баласту здійснювалось способом опускання катодів у воду та замірами струму з подальшим регулюванням зазору між електродами чим добивався заявленої потужності баласту.



Рисунок 3.11 - Зовнішній вигляд баласту катодного типу 30 кВт

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вплив шуму на організм людини та заходи щодо зниження рівня шуму

Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено тепер з повною визначеністю. Ступінь такого впливу, в основному, залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини.

Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини.

Так за даними медиків дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху. Із загальної кількості захворювань, що перераховані, останнім часом значно зросла частка тих, які спричинені саме шумовим впливом. У зв'язку з цим, звертається увага на той факт, що протягом багатовікової еволюції людина так і не набула здатності адаптуватись до дії шуму, як і не було створено природного захисту для високочутливого та досконалого органу слуху людини від дії інтенсивного шуму.

Шкідливі та небезпечні наслідки дії шуму проявляються тим більше, чим вищий рівень сили звуку та триваліша його дія.

Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину. Фізична сутність звуку – це механічні коливання пружного середовища (повітря, рідини). Під час звукових коливань утворюються області зниженого і підвищеного тиску, що діють на слуховий аналізатор (мембрану вуха).

При нормуванні шуму до уваги беруться різні його види. Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», шуми класифікуються за характером спектра та часовими характеристиками. За характером спектра шуми поділяються на

широкосмужні, з неперервним спектром, шириною більш ніж одна октава, та вузькосмужні або тональні, у спектрі яких є виражені дискретні тони. За часовими характеристиками шуми можуть бути постійними, якщо їх рівень шуму протягом робочої зміни (8 годин) змінюється не більш ніж на 5 дБА, та непостійними.

Заходи та засоби захисту від шуму поділяються на колективні та індивідуальні.

До засобів індивідуального захисту від шуму належать навушники, протишумові вкладки, шумо-заглушувальні шоломи.

Засоби колективного захисту від шуму поділяються за такими напрямками:

- зменшення шуму в самому джерелі;
- зменшення шуму на шляху його поширення;
- організаційно-технічні заходи;
- лікувально-профілактичні заходи.

Зменшення шуму у самому джерелі — найбільш радикальний засіб боротьби з шумом, що створюється устаткуванням. Це досягається за допомогою таких заходів та засобів:

- удосконалення кінематичних схем та конструкцій устаткування;
- проведення статичного та динамічного зрівноважування і балансування;
- виготовлення деталей, що співударяються та корпусних деталей з неметалевих матеріалів (пластмас, текстоліту, гуми);
- чергування металевих та неметалевих деталей; підвищення точності виготовлення деталей та якості складання вузлів і устаткування;
- зменшення зазорів у з'єднаннях шляхом зменшення припусків; застосування мащення деталей, що труться.

Зменшення шуму на шляху його поширення досягається:

- архітектурно — планувальні методи (розміщення будівель, обладнання);

- звукоізолюючі кабіни, акустичні екрани місць роботи;
- оснащення шумних машин і технологій засобами дистанційного телеавтоматичного управління.

Головним джерелом, що створює шум на мікро-ГЕС є асинхронні генератори.

Шум асинхронного генератора утворюється в результаті багатьох факторів, які можуть бути класифіковані наступним чином:

- 1) аеродинамічний шум, що виникає в результаті обертання ротора (і вентилятора) і руху повітряних потоків усередині машини;
- 2) механічний шум, що викликається вібраціями деталей внаслідок залишкової неврівноваженості ротора, а також при роботі підшипників;
- 3) магнітний шум, створюваний коливаннями статора і ротора під дією пульсуючих магнітних сил.

Для зменшення шуму приймаються наступні заходи:

1. Зниження шуму спостерігається при зменшенні діаметра вентилятора: зменшення діаметра вентилятора на кожні 10% за інших рівних умов супроводжується зниженням аеродинамічного шуму на 2-3 дБ.
2. Рекомендується заміна підшипників кращими за якістю, промивка підшипників, регулярна змазка, акуратна і ретельна збірка генератора.
3. Змінюються конфігурація і розміри магнітопроводу для зниження магнітного шуму асинхронних генераторів, Зокрема, зменшення шуму сприяють вибір сприятливого співвідношення чисел пазів статора і ротора, зниження індукції в повітряному зазорі і збільшення зазору, вкорочення кроку обмотки і т. д.

Забезпечення всього комплексу заходів з усунення шуму робить можливим створення малошумних генераторів з рівнем шуму, що не перевищує 50 - 60 дБ.

4.2 Вплив вібрації на організм людини та заходи щодо зниження вібрації

Вібрація — це коливання твердих тіл, частин апаратів, машин, устаткування, споруд, що сприймаються організмом людини як струс.

У виробничих умовах припустимі рівні вібрації регламентуються згідно ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

При вібрації виробничих механізмів передаються їх швидкі коливальні і обертальні рухи контактуючим з ними предметам в тому числі працівникам. Причиною порушення вібрації є виникаючі при роботі машин неурівноважені силові впливи: ударні навантаження; зворотно-поступальні переміщення; дисбаланс. Причиною дисбалансу є: неоднорідність матеріалу; розбіжність центрів мас і осей обертання; деформація.

Вібрація - загальнобіологічний шкідливий чинник, що призводить до фахових захворювань - віброзахворювань, лікування котрих можливо тільки на ранніх стадіях. Хвороба супроводжується стійкими порушеннями в організмі людини (опорно-руховий апарат, необоротні зміни в кістках і суглобах, зсуви в черевній порожнині, нервово-психічній сфері). Людина частково або цілком утрачає працездатність. За способом передачі на людину вібрація підрозділяється на загальну і локальну. Загальна - діє через опорні поверхні ніг на весь організм у цілому. Локальна - на окремі ділянки тіла. Загальну поділяють за характером передачі на: транспортну (при прямуюванні машин); транспортно-технологічну (при виконанні роботи машиною прямуювання: кран, бульдозер); технологічну (при роботі механізмів і людина знаходиться поруч).

Вібрація впливає на:

- центральну нервову систему;
- шлунково-кишковий тракт;
- вестибулярний апарат;

— викликає запаморочення, оніміння кінцівок;

— захворювання суглобів.

Тривалий вплив вібрації викликає фахове захворювання — вібраційну хворобу.

Розрізняють загальну і локальну вібрації. Локальна вібрація зумовлена коливаннями інструмента й устаткування, що передаються до окремих частин тіла. При загальній вібрації коливання передаються всьому тілу від механізмів через підлогу, сидіння або робочий майданчик. Найбільш небезпечна частота загальної вібрації 6—9 Гц, оскільки вона збігається з власною частотою коливань внутрішніх органів людини. В результаті цього може виникнути резонанс, це призводить до переміщень і механічних ушкоджень внутрішніх органів. Резонансна частота серця, живота і грудної клітки — 5 Гц, голови — 20 Гц, центральної нервової системи — 250 Гц. Частоти сидячих людей становлять від 3 до 8 Гц.

Заходи захисту від вібрації поділяються на колективні та індивідуальні.

Засоби індивідуального віброзахисту — це спеціальне взуття на вібропоглинаючій платформі, віброзахисні рукавиці, наколінники, нагрудники, пояси, спеціальні костюми.

Колективні методи захисту спрямовані на зниження параметрів вібрації джерелом збудження і на шляхах її поширення. Вони у свою чергу поділяються на організаційні, технічні і лікувально-профілактичні.

Організаційні методи віброзахисту — застосування технологічних процесів з низькими рівнями вібрації і шуму; впровадження дистанційного керування, що виключає постійне перебування працюючого у зоні небезпечних рівнів вібрації; дотримання раціональних режимів праці й відпочинку; огорожувальні засоби, які перешкоджають проникненню людини до зони дії вібрації.

Технічні методи віброзахисту — це система заходів і засобів з покращення роботи машин, зменшення рівня вібрації технологічних

процесів, застосування додаткових пристроїв (віброізоляція, вібропоглинання та віброгасіння).

Віброізоляція забезпечує зниження рівня вібрації використанням між джерелом вібрації та працюючим ізолюючих засобів – пружин, ресор, пневматичних та гумових подушок, прокладок, віброізолюючих опор, конструктивних розривів, заміна ударних навантажень на безударні.

Вібропоглинання використовується з метою трансформації енергії механічних коливань в інші види енергії, переважно в теплову, а також застосування антифазової синхронізації двох або кількох джерел збудження.

Віброгасіння – це зниження рівня вібрації машин та механізмів застосуванням додаткових пристроїв. Віброгасіння може бути статичним (спеціальні фундаменти для верстатів, моторів, пневматичні та пружинні підвіски в автомобілях) і динамічним (агрегати з дискретним збурюючим впливом, віброгасіння маятникового, пружинного, плаваючого та камерного типів).

Лікувально-профілактичні заходи віброзахисту – своєчасне проведення медичних оглядів працівників, що зайняті на роботах з вібруючими установками, контроль за гігієнічними параметрами у виробничих приміщеннях.

4.3 Підвищення стійкості роботи гідрогенератора до дії уражаючих факторів ядерного вибуху

У кваліфікаційній роботі розглядається модель автономної низько-напірної автоматизованої мікро-ГЕС на базі асинхронних генераторів.

Заходи щодо підвищення стійкості роботи мікро-ГЕС проводяться як у мирний час, так і при загрозі нападу противника. Одним з таких заходів є прогнозування та оцінка стійкості його роботи при впливі вражаючих факторів техногенних НС. При цьому враховуються такі положення.

1. Основними вражаючими факторами техногенних НС є:

- повітряна ударна хвиля;

- світлове випромінювання;
- проникаюча радіація;
- радіоактивне зараження;
- електромагнітний імпульс (ЕМІ).

Стійкість об'єкта оцінюється по відношенню до кожного з них.

2. При ЯВ виникають вторинні уражаючі фактори, що враховуються при оцінці стійкості, а це:

- пожежі;
- вибухи;
- зараження АХОВ (аварійно хімічно небезпечні речовини);
- катастрофічне затоплення і т.д.

Підвищення стійкості об'єкта до ударної хвилі. Надійно захистити все технологічне обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, так як доводити міцність будівель, цехів до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Захист обладнання необхідний, якщо: устаткування, що захищається здатне при руйнуванні решті частини підприємства випускати особливо важливу продукцію; устаткування, що захищається важко відновлюється, а при ураженні даного об'єкта передбачається використання цього обладнання на інших підприємствах; устаткування, що захищається є унікальне і його необхідно зберегти для подальшого використання. До такого обладнання відносять і гідрогенератори.

До способів підвищення стійкості гідрогенератора від дії ударної хвилі відносять:

- розміщення гідрогенератора у будинках з підвищеними характеристиками міцності;
- розміщення гідрогенератора в спеціальних захисних спорудах;
- розміщення гідрогенератора в окремо розташованих будинках павільйонного типу, що мають полегшені і важко займисті огорожувальні конструкції, руйнування яких не вплине на збереження обладнання.

- крім того, слід створювати запаси найуразливіших деталей і вузлів технологічного устаткування, а також виготовляти в мирний час захисні конструкції для захисту обладнання від пошкоджень при обрушенні конструкцій будівель.

Підвищення стійкості об'єкта до світлового випромінювання. Головною метою захисту об'єкта від світлового випромінювання є підвищення протипожежної стійкості. На об'єктах проводяться протипожежні профілактичні заходи як для запобігання пожеж, так і для створення умов, що ускладнюють поширення вогню і полегшують боротьбу з ним в осередку ядерного ураження.

Для підвищення вогнестійкості конструкцій використовується вогнезахисне - фарбування і обмазка. Фарбування здійснюється фарбою світлих тонів. В якості захисних покриттів використовуються вогнестійкі фарби, а також побілка, що відбиває світлове випромінювання, а для відкритих дерев'яних конструкцій застосовуються також вапняна або суперфосфатна обмазка, глина.

До числа спеціальних заходів щодо захисту гідрогенератора, що проводяться на об'єкті де він розміщений, можна віднести наступні: зменшення до технологічно обґрунтованого мінімуму мастильних масел, фарб та інших горючих речовин; видалення горючих матеріалів від віконних прорізів; застосування автоматичних ліній та засобів гасіння пожеж як найбільш ефективних для боротьби з пожежами, що починаються від світлового випромінювання; максимальне усунення умов, що створюють вибухові суміші в будівлях; пристрій аварійно заглиблених ємностей для швидкого спуску з устаткування і технологічних систем горючих рідин.

Підвищення стійкості роботи об'єкта до впливу проникаючої радіації і радіоактивного зараження. На об'єкті, де розміщений гідрогенератор, проводиться герметизація основних виробничих будівель і споруд шляхом влаштування тамбурів, герметизації дверей, віконних отворів і прорізів технологічних магістралей. Прорізи, які не обов'язкові для нормальної

експлуатації обладнання, можуть закладатися цеглою. В системі припливно-витяжної вентиляції встановлюються фільтри та герметичні засувки. Створюються запаси дезактивуючих, дегазуючих і дезінфікуючих речовин, підготовляються технічні засоби для їх застосування.

Виключення або обмеження дії вторинних факторів ядерного вибуху на об'єкт. Заходи по виключенню або обмеженню дії вторинних факторів тісно пов'язані з заходами, проведеними для підвищення стійкості об'єкту до впливу ударної хвилі і світлового випромінювання. Спеціальними є наступні заходи: вивезення наднормативних запасів речовин, що викликають вторинні фактори ураження (паливо і мастильні матеріали, вибухонебезпечні речовини), на безпечну відстань від об'єкта; полегшення перекриттів та стінного заповнення виробничих будівель; застосування пристроїв, в тому числі автоматичних, для відключення систем, руйнування яких може викликати вторинні вражаючі фактори.

У розділі розроблено заходи підвищення стійкості об'єкта та обладнання до впливу світлового випромінювання, проникаючої радіації, повітряної ударної хвилі, радіаційного зараження та дії вторинних уражаючих факторів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було проведено дослідження переваг міні-гідроелектростанцій серед інших електричних станцій. Встановлено, що ГЕС виробляють відносно дешеву, екологічну електроенергію. Також їхня висока маневреність дозволяє бути допоміжним засобом для систем з сонячними або вітровими електростанціями. Також розглянуто умови експлуатації та типові елементи, з яких складаються міні-ГЕС та розглянуто їхні типові рішення. На основі цього було сформовано вимоги до сучасних міні-ГЕС за енергетичними параметрами.

Описано дві основні системи керування міні-ГЕС. На основі цього опису та технічного завдання було обрано систему з автобаластним керуванням, оскільки вона є надійнішою та дешевшою. Виходячи з обраної системи, було обрано відповідні компоненти для її реалізації.

Здійснено опис математичної моделі міні-ГЕС та її статичні характеристики, що дало змогу проаналізувати процеси які відбуваються в системі, що дало на основі цих даних здійснити синтез системи керування.

Наступним етапом було здійснено розробку системи керування стабілізації напруги та частоти з використанням тиристорних регуляторів, які керуються ПІД-регуляторами напруги та частоти і які будуть формувати сигнал, що сигналізує про зміну параметрів. Цей сигнал буде надходити до системи фазного керування тиристорними регуляторами, які в подальшому будуть стабілізувати регульований параметр.

Черговим етапом було проведено математичне моделювання електро-механічної системи міні-ГЕС. В результаті було виявлено, що найбільший час перехідного процесу становить 0,23 секунди, відхилення частоти - 9%, а максимальне відхилення напруги у разі від'єднання 40% споживачів сягає 7%. Перехідний процес в останньому випадку триває 0,18 с.

Останнім етапом була реалізація розробленої системи стабілізації напруги і частоти та впровадження її на гідроагрегаті №2 50 кВ діючої міні-ГЕС «Топльки» (м. Бучач Тернопільської області).

Реалізований в кваліфікаційній роботі проект можна рекомендувати для реалізації автономних енергоостровів живлення на базі міні-ГЕС.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вовчак, В., Тесленко, О., Самченко, О. (2018). Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том I. URL: <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES1.pdf> (дата звернення 06.05.2023)
2. European Small Hydropower Association (2004). Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. Part 2. URL: https://energypedia.info/images/4/4a/Part_2_guide_on_how_to_develop_a_small_hydropower_plant_final-21.pdf
3. Manish Kumar Saini. (03-Aug-2022). Difference between Impulse Turbine and Reaction Turbine. TutorialsPoint. URL: <https://www.tutorialspoint.com/difference-between-impulse-turbine-and-reaction-turbine> (дата звернення 07.05.2023)
4. Малярєнко В.А., Доценко С.І., Темнохуд І.О. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виробництва електроенергії» (для студентів 1, 2 курсів денної, 2 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 "Електротехніка та електротехнології" та слухачів другої вищої освіти зі спеціальності „Електротехнічні системи електроспоживання”) / В.А. Малярєнко, С.І. Доценко, І.О. Темнохуд. Харків: ХНУМГ, 2014. С. 41-50.
5. Baoling Guo, Bacha Seddik. Mazen Alamir, Amgad Tarek Mohamed. Variable speed micro-hydro power generation system: Review and Experimental results. SYMPOSIUM DE GENIE ELECTRIQUE (SGE 2018), 3-5 JUILLET 2018, NANCY, FRANCE. URL: <https://hal.science/hal-01907850/> (дата звернення 07.05.2023)
6. В.І. Будько, П.Ф. Васько, С.Т. Пазич. Гідроенергетика: курс лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/уклад.: /КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові дані (1 файл: 13,6 Мбайт). – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2023. – 205 с.
7. Лукутін Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е. Б. Автономне електропостачання від мікрогідроелектростанції: Монографія. – Київ, 2001. – 104 с.

8. Харченко О.О. «Електромеханічна система міні-ГЕС». Дипломна робота. – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2023. – 70 с.
9. Hildinger T., Ködding L. (October 2013). Modern Design for Variable Speed Motor-Generators - Asynchronous (DFIM) and Synchronous (SMFI) Electric Machinery - Options for Pumped Storage Power Plants. Hydro 2013. URL: https://www.researchgate.net/publication/307919334_Modern_Design_for_Variable_Speed_Motor-Generators-Asynchronous_DFIM_and_Synchronous_SMFI_Electric_Machinery_-_Options_for_Pumped_Storage_Power_Plants
10. Creager W., Justin J. Hydroelectric Handbook. Second Editor. – USA, 1950. – 1151 с.
11. Gulliver J., Arndt R. Hydropower Engineering Handbook. – McGRAW-HILL, INC. – 1991. – 667с
12. Ramos H. Small Hydropower Plants. – WREAN and DED. – Belfast, North Ireland. – 2000. – 206 с.
13. Якість електричної енергії. Дата оновлення 21.02.2022. GOV.UA. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/yakist-elektropostachannya/yakist-elektrichnoyi-energiyi> (дата звернення 10.05.2023)
14. Тиристорний регулятор змінної напруги РЕНАП-3Т-25. Сайт виробника Tems. URL: https://www.tems.com.ua/components/com_jshopping/files/demo_products/RENAP3T.pdf
15. Тиристорний регулятор напруги РЕНАП-3В-100. Сайт виробника Tems. URL: https://www.tems.com.ua/components/com_jshopping/files/demo_products/RENAP3V.pdf
16. Регулятор мікропроцесорний МІК-311-К11. Сайт виробника Мікрол. http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=373&category_id=41&option=com_virtuemart&Itemid=71&lang=ru.
17. Аналоговий перетворювач частоти АРМ-FREQ-АРО. <https://www.trumeter.com/wp-content/uploads/APM-VAF-Datasheet.pdf>

18. Трансформатор ТЗСІ-10 380/36. Сайт постачальника eNasos. URL: <https://enasos.com.ua/ru/products/transformator-ponizhayuschij-tszi-63-kvt-38036-trehfaznyj-v-korpuse-suhoj>
19. Датчик частоти Datacom-DF-1010. Сайт постачальник Electro. URL: <https://ecshop.com.ua/files/DATAKOM-DF0101-manual.pdf>
20. Krause C., Wasynczuk O., Sudhoff S. Analysis of electric machinery and driver systems. 2 Edition. The Institute of Electronics Engineers. – USA- 2002 – 613 с.
21. Оробчук Б., Хоміцький О., Зайченко О., Лещук А. Стабілізація частоти напруги генератора в автономній системі резервного конференцій живлення на базі малих ГЕС / VII Міжнародна науково-технічна конференція „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи”. (Тернопіль, 11-12 травня 2024) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2024
22. Закон України «Про охорону праці». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/>
23. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третьякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. - 425 с.
24. ПУЕ - Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)/ Наказ від 21.07.2017 № 476 Про затвердження Правил улаштування електроустановок
25. Правила експлуатації електрозахисних засобів. Вид. офіц. Київ: Міністерство енергетики, 2002. 46 с.
26. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПІ Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
27. Оробчук Б.Я., Буняк О.А., Бабюк С.М., Сисак І.М., Вакуленко О.О. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення дипломної роботи за ступенем «магістр». Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 р.

