

Вінницький національний технічний університет

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НА БАЗІ
МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕСМ-23мс
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
за ОП «Електричні системи та мережі»,
Бабенко Д. О. Д

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС
Лесько В.О. Л

« 06 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕССЕМ
(наук. ступінь, вч. звання, назва кафедри)

Бабенко О.В. Б

« 04 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

Р
« 06 » червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма – Електричні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕСС

д.т.н., професор Комар В. О.

«20» квітня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бабенку Дмитру Олександровичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Інтелектуальні системи регулювання напруги на базі мікропроцесорної техніки для електричних мереж»

Керівник роботи к.т.н., доцент каф. ЕСС Лесько В. О.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 97

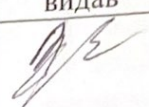
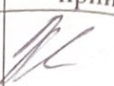
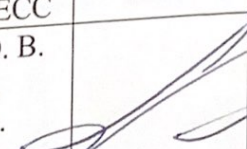
2. Термін подання студентом роботи 4 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи:

1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с. 2. «ПТЕ Технічна експлуатація електричних станцій та мереж.» 3. Електричні системи і мережі. Частина 1: навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський. Вінниця : ВНТУ, 2020. 203 с. 4. Кулик В. В. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110-330 кВ: навчальний посібник / В. В. Кулик, В. В. Тептя, О. Б. Бурикін, О. В. Сікорська. Вінниця: ВНТУ, 2018. 110 с.

4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Аналіз сучасного стану регулювання напруги в електричних мережах дослідження якості оптимізація систем регулювання напруги технічна реалізація систем регулювання напруги в електричних мережах 4. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. . Аналіз сучасного стану регулювання напруги в електричних мережах дослідження якості оптимізація систем регулювання напруги технічна реалізація систем регулювання напруги в електричних мережах.

6. Консультанти розділів роботи		Підпис, дата	
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	завдання видав	виконав прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Лесько В. О., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Кобилянський О. В. д.п.н., проф., завідувач каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

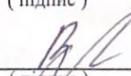
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Формування та затвердження задач БКР	21.03.2025	24.03.2025
2	Вступ. Огляд літературних джерел	25.03.2025	30.03.2025
3	Аналіз сучасного стану регулювання напруги в електричних мережах (розділ 1 БКР)	31.03.2025	07.04.2025
4	Дослідження якості і оптимізація систем регулювання (розділ 2 БКР)	08.04.2025	11.04.2025
5	Напруги технічна реалізація систем регулювання напруги в електричних мережах (розділ 3 БКР)	12.04.2025	19.04.2025
6	Виконання розділу охорона праці (розділ 4 БКР)	20.04.2025	30.04.2025
7	Формування висновків по роботі	01.05.2025	03.05.2025
8	Оформлення пояснювальної записки	04.05.2025	19.05.2025
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	20.05.2025	27.05.2025
10	Перевірка БКР на плагіат. Попередній захист БКР.	28.05.2025	3.06.2025
11	Рецензування БКР	04.06.2025	09.06.2025
12	Захист БКР	10.06.2025	12.06.2025

Студент


(підпис)

Д. О. Бабенко

Керівник роботи


(підпис)

В. О. Лесько

Анотація

Бабенко Д. О. «Інтелектуальні системи регулювання напруги на базі мікропроцесорної техніки для електричних мереж». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 82 с. Рис. 10, табл.18, бібліогр. 31.

У роботі розглянуто підвищення ефективності регулювання напруги в електричних мережах за допомогою інтелектуальних систем на основі мікропроцесорної техніки. Проведено аналіз сучасних методів регулювання, досліджено роботу трансформаторів з РПН, оптимізовано параметри регуляторів. Запропоновано структуру дворівневої системи керування та реалізовано її мікропроцесорну частину з адаптивною логікою. Робота містить розрахунок обмоток трансформатора та розділ з охорони праці.

Ключові слова: регулювання напруги, РПН, мікропроцесор, трансформатор, електрична мережа, оптимізація.

ANNOTATION

Kovalchuk V. V. "Improving the efficiency of distribution networks by reducing power losses". Bachelor's qualification work. – Vinnytsia: VNTU, 2025. – 82 p. Fig. 10, table 18, bibliography 41

The bachelor's qualification work considers a set of measures aimed at increasing the efficiency of distribution electrical networks by reducing power losses. A classification of regime and technical measures and an analysis of their effectiveness are carried out. Considerable attention is paid to the optimization of network operating modes, in particular, methods for reducing losses in supply networks, voltage regulation in power centers, determining rational locations for line disconnection, disconnecting transformers at low loads and leveling the load schedule.

A separate section considers reactive power compensation, including the selection of the power of compensating devices under conditions of uncertainty of the initial data, as well as the development of a methodology for determining the optimal locations for their installation. Various approaches to the location of capacitor units are proposed, taking into account risk minimization, maximum effect and reduction of the number of installation points. The sequence of planning measures and analysis of the structure of technical losses are presented. The paper also considers the issue of labor protection when implementing appropriate measures.

Keywords: distribution networks, power losses, mode optimization, reactive power compensation, capacitor units, energy efficiency, technical measures, labor protection.

Зміст

Вступ.....	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	9
1.1 Види регулювання напруги в електричних мережах.....	9
1.2 Регулювання напруги зміною коефіцієнта трансформації силових трансформаторів.....	16
1.2.1. Трансформатори з ПБЗ.....	16
1.2.2. Трансформатори з механічними пристроями РПН.....	17
1.2.3. Трансформатори з безконтактними пристроями РПН.....	38
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ.....	45
2.1. Дослідження роботи системи регулювання напруги силового трансформатора з пристроєм РПН.....	45
2.2. Дослідження роботи дворівневої системи регулювання напруги в електричних мережах.....	45
2.3. Оптимізація параметрів регулятора нижнього рівня.....	56
3 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	58
3.1. Мікропроцесорна реалізація регулятора напруги нижнього рівня.....	58
3.2. Мікропроцесорна реалізація блока прийняття рішення з оптимізацією порогового коефіцієнта.....	61
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	
5 РОЗРАХУНОК ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА.....	64
5.1. Розрахунок обмоток низької напруги. Розрахунок циліндричної обмотки.....	64
5.2 Розрахунок обмоток ВН. Неперервна катушечна обмотка.....	66
Висновки.....	71
Література.....	72
Додатки	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні електроенергетичні системи перебувають на етапі інтенсивного розвитку, що зумовлено необхідністю підвищення надійності, економічності та якості електропостачання споживачів. Одним із ключових факторів, що безпосередньо впливає на якість електроенергії, є стабільність рівня напруги в електричних мережах. Відхилення напруги від нормативних значень може призводити до значних втрат, пошкодження обладнання, зниження ефективності роботи електротехнічних пристроїв, а також до скорочення терміну їх експлуатації.

В умовах зростаючого енергоспоживання, широкого впровадження відновлюваних джерел енергії, децентралізації генерації та цифровізації енергетики зростає складність управління параметрами мережі. Зокрема, традиційні методи регулювання напруги, ґрунтовані переважно на ручному або малоефективному автоматичному управлінні, більше не забезпечують необхідного рівня адаптивності та точності в умовах змінних режимів роботи мережі.

Одним із перспективних напрямів удосконалення систем електропостачання є впровадження інтелектуальних систем регулювання напруги, побудованих на основі мікропроцесорної техніки. Такі системи дають змогу реалізувати гнучке, адаптивне управління з використанням алгоритмів автоматичного прийняття рішень, що значно підвищує точність, швидкодію і надійність процесу стабілізації напруги.

Актуальність теми даної кваліфікаційної роботи полягає в необхідності розробки та впровадження сучасних технічних засобів і алгоритмів для забезпечення якісного регулювання напруги, що відповідає вимогам надійності, енергоефективності та автоматизації процесів управління електричними мережами.

Метою роботи є аналіз, розробка та мікропроцесорна реалізація інтелектуальної системи регулювання напруги в електричних мережах на базі дворівневої структури керування.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз існуючих методів та технічних засобів регулювання напруги;
- дослідити роботу трансформаторів з пристроями регулювання під навантаженням (РПН);
- розробити структуру дворівневої системи регулювання напруги;
- оптимізувати параметри регулятора нижнього рівня;
- реалізувати мікропроцесорну систему керування з адаптивною логікою;
- здійснити розрахунок обмоток силового трансформатора для вибраної структури регулювання;
- розглянути питання охорони праці при впровадженні системи.

Об'єкт дослідження – процес регулювання напруги в електричних мережах.

Предмет дослідження – інтелектуальні мікропроцесорні системи автоматичного регулювання напруги.

Методи дослідження – аналіз електричних режимів, моделювання роботи регуляторів напруги, оптимізаційні алгоритми, мікропроцесорне програмування.

Практичне значення роботи полягає в можливості застосування запропонованої мікропроцесорної системи в системах розподілу електроенергії для підвищення стабільності напруги, зниження технічних втрат та забезпечення надійного електропостачання споживачів.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

1.1. Види регулювання напруги в електричних мережах

Для підтримання рівня напруги на затискачах споживача в допустимих межах в різних місцях електричної мережі проводять регулювання напруги, яке може бути централізованим або локальним.

Централізоване регулювання напруги проводиться у вузлах електричних мереж і використовується при живленні великої кількості споживачів (велике підприємство, місто). В такому регулюванні можна виділити три підходи: стабілізація напруги, двоступінчасте регулювання напруги і зустрічне регулювання напруги.

Стабілізація напруги застосовується для споживачів з практично незмінним навантаженням, наприклад для тризмінних підприємств, де рівень напруги необхідно підтримувати постійним протягом доби. Добовий графік таких споживачів приведений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Добовий графік для споживачів з незмінним навантаженням

Для споживачів з чітко вираженим двоступінчастим графіком

навантаження (рисунок 1.2), наприклад, для однозмінних підприємств, застосовують двоступінчасте регулювання напруги. При цьому підтримуються два рівні напруги впродовж доби у відповідності з графіком навантаження.

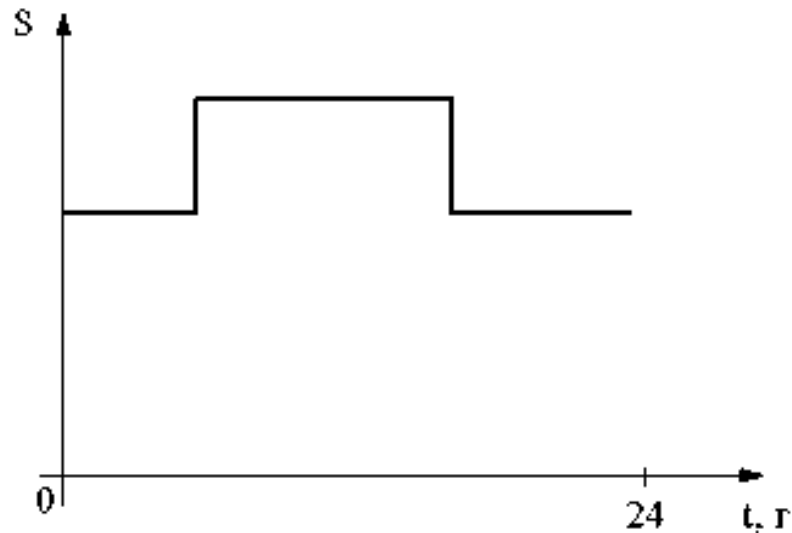


Рисунок 1.2 - Добовий графік для споживачів з двоступінчастим навантаженням.

У випадку змінного протягом доби навантаження (рисунок 1.3) здійснюється так зване зустрічне регулювання. Для кожного значення навантаження будуть мати своє значення і втрати напруги, отже, і сама напруга буде змінюватись із зміною навантаження. Для того, щоб відхилення напруги не виходили за межі допустимих значень, необхідно регулювати напругу в залежності від струму навантаження.

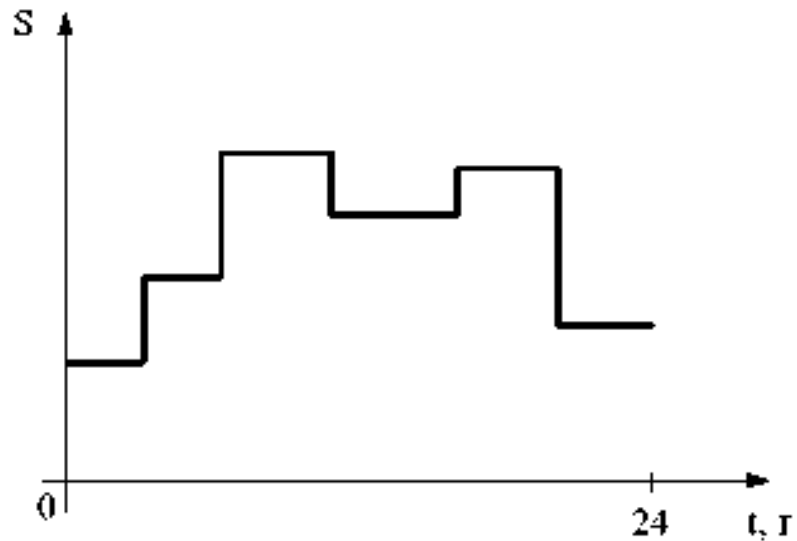


Рисунок 1.3 - Добовий графік споживачів із змінним навантаженням.

Для детального розглядання зустрічного регулювання напруги використаємо схему, подану на рисунку 1.4, а, де трансформатор представлений як опір трансформатора та ідеальний коефіцієнт трансформації n . На рисунку 1.4, а прийняті такі позначення: U_1 – напруга на шинах центра живлення; U_{2B} – напруга на шинах високої напруги (ВН) районної підстанції; U_{2H} – напруга на шинах низької напруги (НН) районної підстанції; U_3 – напруга у споживачів.

враховувати при виборі регулювального відгалуження.

На рисунку 1.4, б представлені графіки зміни напруги для двох режимів: найменших та найбільших навантажень. При цьому по осі абсцис відкладені втрати напруги, а по осі ординат - значення відхилень напруги.

З рисунка 1.4, б (пунктирні лінії) видно, що при $n = 1$ в режимі мінімальних навантажень напруга у споживачів буде вище, а в режимі максимальних навантажень - нижче за допустиме значення (тобто відхилення U більші за допустимі). При цьому приймачі електроенергії, що під'єднані до мережі НН (тобто в точках А і В), працюватимуть в недопустимих умовах. Змінюючи коефіцієнт трансформації трансформатора районної підстанції n , змінюють U_{2H} , тобто регулюють напругу на споживачах (суцільна лінія на рисунку 1.4,б).

В режимі найменших навантажень підвищують коефіцієнт трансформації n , зменшуючи вторинну напругу U_{2H} до значення, якомога ближчого до $1,0U_{ном}$. В даному режимі вибирають таке найбільше стандартне значення n , щоб виконувалась умова

$$U_{2H,нм} > 1,0 U_{ном}. \quad (1.2)$$

В режимі найбільших навантажень знижують n , збільшуючи напругу U_{2H} до значення, якомога ближчого до $1,05U_{ном}$. В цьому режимі вибирають таке найбільше стандартне значення n , щоб виконувалась умова

$$U_{2H,нб} > 1,05 U_{ном}. \quad (1.3)$$

Таким чином, напруга на затискачах споживачів як віддалених, так і близькорозташованих вводиться в допустимі межі. При такому регулюванні в режимі найбільших навантажень напруга нижча і вона підвищується, а в режимі найменших навантажень, навпаки, напруга вища і вона понижується. Тому таке регулювання називається зустрічним.

Локальне регулювання напруги проводиться безпосередньо на споживачі (електродвигуні, електричній печі, відповідальній установці тощо) і поділяється на групове та індивідуальне. Групове регулювання

застосовується для групи споживачів, а індивідуальне - в основному в спеціальних цехах.

Класифікація основних методів регулювання напруги приведена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Класифікація методів регулювання напруги в електричних мережах

1.2. Регулювання напруги зміною коефіцієнта трансформації силових трансформаторів

Основним засобом регулювання напруги в розподільних мережах є трансформатори районних підстанцій, оскільки вони можуть узгодити вимоги до напруги близьких і віддалених споживачів.

Трансформатори можуть бути під'єднані в різних пунктах електричних мереж, в яких режим напруги заздалегідь, як правило, невідомий і, крім того, може змінюватись в процесі експлуатації мережі. Тому трансформатори мають крім основних ще й додаткові регулювальні відгалуження. Змінюючи ці відгалуження, можна дещо змінити коефіцієнт трансформації (в межах 10—20%).

За конструктивним виконанням розрізняють трансформатори двох типів:

- з перемиканням регулювальних відгалужень без збудження, тобто з відключенням від мережі (скорочено - трансформатори з ПБЗ);

- з перемиканням регулювальних відгалужень під навантаженням (скорочено - трансформатори з РПН).

Як правило, регулювальні відгалуження виконуються на боці високої напруги ВН трансформатора, яка має менший робочий струм. При цьому спрощується перемикаючий пристрій.

1.2.1. Трансформатори з ПБЗ. В теперішній час трансформатори з ПБЗ виготовляють з основним і чотирма додатковими відгалуженнями. Принципова схема такого трансформатора приведена на рисунку 1.6.

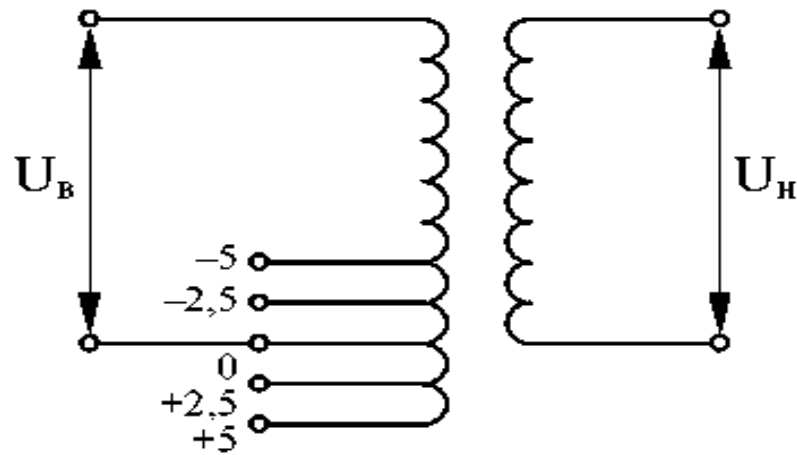


Рисунок 1.6 - Принципова схема трансформатора з ПБЗ.

Основне відгалуження має напругу, рівну номінальній напрузі мережі, до якої приєднується даний трансформатор (6, 10, 20 кВ). При основному відгалуженні коефіцієнт трансформації трансформатора називають номінальним. При використанні чотирьох додаткових відгалужень коефіцієнт трансформації відрізняється від номінального відповідно на +5%, +2,5%, -2,5% і -5%.

Для того, щоб здійснити перемикання регульовального відгалуження, необхідно відключити трансформатор від мережі. Такі перемикання виконуються рідко, практично лише при сезонній зміні навантажень. Тому в режимі найбільших і найменших навантажень впродовж доби (наприклад, вдень і вночі) трансформатор з ПБЗ працює на одному регульовальному відгалуженні і відповідно з одним і тим же коефіцієнтом трансформації. При цьому неможливо виконати вимоги зустрічного регулювання, що є основним недоліком трансформаторів з ПБЗ.

1.2.2. Трансформатори з механічними пристроями РПН.

Трансформатори з регулюванням напруги під навантаженням, тобто з вбудованим пристроєм РПН (рисунку 1.7, а) відрізняються від трансформаторів з ПБЗ наявністю спеціального перемикаючого пристрою, а також збільшеною кількістю ступенів регульовальних відгалужень і діапазоном регулювання.

На рисунку 1.7, б зображена принципова схема трансформатора з РПН. Обмотка високої напруги ВН даного трансформатора складається з двох частин – регульованої та нерегульованої. На регульованій частині є ряд відгалужень до нерухомих контактів 1-4. Відгалуження 1-2 відповідають частині витків, які ввімкнуті узгоджено з витками основної обмотки (напряму вказаний на рисунку 1.7, б стрілками). При вмиканні відгалужень 1-2 коефіцієнт трансформації збільшується. Відгалуження 3-4 відповідають частині витків, які з'єднані зустрічно по відношенню до витків основної обмотки. Їх вмикання зменшує коефіцієнт трансформації, оскільки компенсує дію частини витків основної обмотки. Основним виводом обмотки ВН трансформатора є точка 0. Число витків, діючих узгоджено і зустрічно з витками основної обмотки, може бути неоднаковим.

На регульованій частині обмотки є перемикаючий пристрій, який складається з рухомих контактів в і г, контакторів К1 і К2 та реактора Р. Середина обмотки реактора з'єднана з нерегульованою частиною обмотки трансформатора. Зазначимо, що в сучасних пристроях РПН замість реактора використовуються активні опори. В нормальному режимі струм навантаження обмотки ВН розподіляється рівно між половинами обмотки реактора. Тому магнітний потік малий і втрати напруги в реакторі також малі.

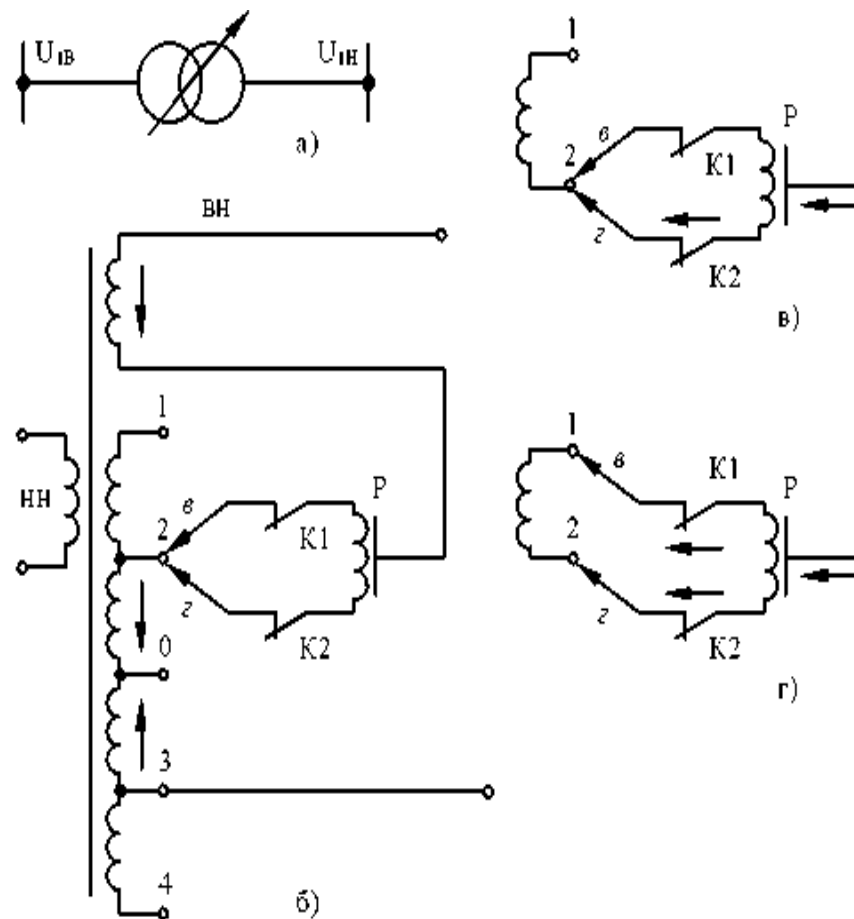


Рисунок 1.7 - Трансформатор з РПН: а – умовне позначення; б – принципова схема; в, г – перемикання відгалужень.

Припустимо, що необхідно переключити пристрій з відгалуження 2 на відгалуження 1. При цьому вимикають контактор К1 (рисунок 1.7, в), переводять рухомий контакт в на відгалуження 1 і знов вмикають контактор К1 (рисунок 1.7, г). Таким чином, секція 1-2 обмотки виявляється замкнутою на обмотку реактора Р. Значна індуктивність реактора обмежує урівнюючий струм, який виникає внаслідок наявності напруги на секції 1-2 обмотки. Після цього вимикають контактор К2, переводять рухомий контакт г на відгалуження 1 і вмикають контактор К2.

За допомогою РПН можливо перемикати відгалуження, змінюючи тим самим коефіцієнт трансформації, під навантаженням, тобто впродовж доби. При цьому можливо вибрати в режимах найбільших і найменших навантажень необхідні відгалуження і заокруглити їх до таких найближчих

значень, щоб виконувались вимоги зустрічного регулювання.

Недоліками трансформаторів з РПН є їх висока вартість і обмежена кількість перемикачів, що знижує якість регулювання.

В запропонованому трансформаторі, який має дві гілки грубого регулювання і одну гілку тонкого регулювання. Зміна напруги проводиться з'єднанням (послідовно-паралельно) в різних комбінаціях регулювальних гілок. Даний спосіб регулювання напруги технічно реалізувати складніше, оскільки для отримання різних комбінацій з'єднання регулювальних гілок необхідно встановлювати складний пристрій перемикачів.

Часто трансформатори з РПН споряджаються автоматичними регуляторами, які реалізують певний закон регулювання напруги.

Найпростішим законом регулювання напруги є регулювання за її відхиленням. Відомий пристрій для регулювання напруги на силовому трансформаторі, який реалізує такий закон регулювання. Функціональна схема цього пристрою приведена на рисунку 1.8.

На рисунку 1.8: 1 – датчик струму; 2 – силовий трансформатор з РПН; 3, 4 – контакти слідкування веденого вала перемикача; 5 – контакти реле запам'ятовування циклу перемикачів "Збільшити"; 6 – контакти реле запам'ятовування циклу перемикачів "Зменшити"; 7 – реле запам'ятовування циклу перемикачів "Збільшити"; 8 – реле запам'ятовування циклу перемикачів "Зменшити"; 9 – реле максимального струму; 10 – електропривод пристрою РПН; 11 – блокуючий елемент; 12 – трансформатор напруги; 13 – реле мінімальної напруги; 14 – реле максимальної напруги; 15 – контакти реле мінімальної напруги; 16 – контакти реле максимальної напруги; 17 – автоматичний регулятор напруги.

При перевищенні напругою верхньої межі зони нечутливості регулятор напруги 17 подає короткочасний сигнал "Зменшити" на електропривод 10 для перемикачів відгалужень трансформатора на пониження напруги. При виході напруги за нижню межу зони нечутливості регулятор подає короткочасний сигнал "Збільшити" на підвищення напруги. Сигнал

"Зменшити" (або "Збільшити") також надходить на реле запам'ятовування циклу перемикання "Зменшити" 8 (або реле запам'ятовування циклу перемикання "Збільшити" 7), яке продовжує подавати команду на електропривод до закінчення процесу перемикання.

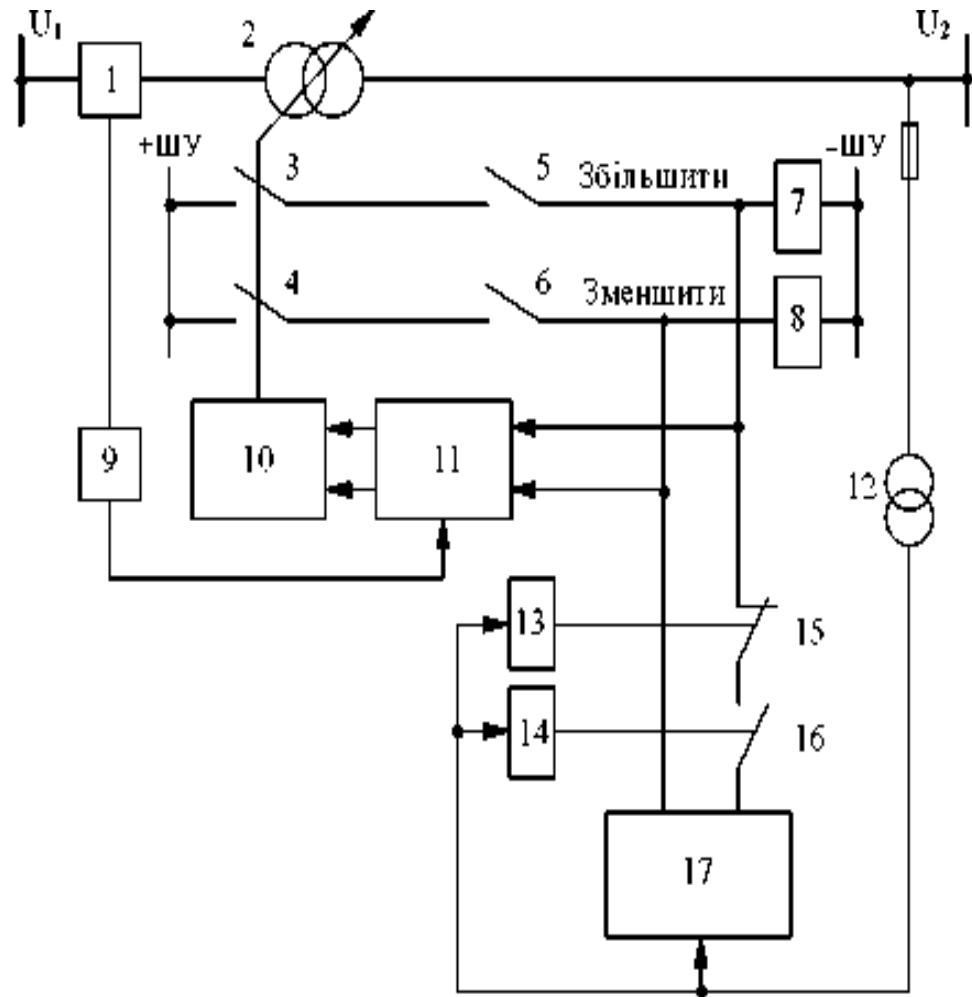


Рисунок 1.8 - Функціональна схема пристрою регулювання напруги силового трансформатора.

Даний пристрій також реалізує блокування електроприводу при виникненні надструмів в силовому трансформаторі 2 під час перемикавання за допомогою реле максимального струму 1 і блокуючого елемента 11. Після зникнення надструмів блокування знімається і відбувається завершення початого перемикавання. При великих пониженнях напруги сигнал "Збільшити" блокується і перемикач не приходять до руху.

Описаний пристрій для регулювання напруги силових трансформаторів

не враховує навантаження споживачів, тому за допомогою нього неможливо реалізувати закон зустрічного регулювання напруги.

Пристрій для автоматичного регулювання напруги вузла електричної мережі, який дає змогу врахувати навантаження споживачів в . Функціональна схема даного пристрою приведена на рисунку 1.9.

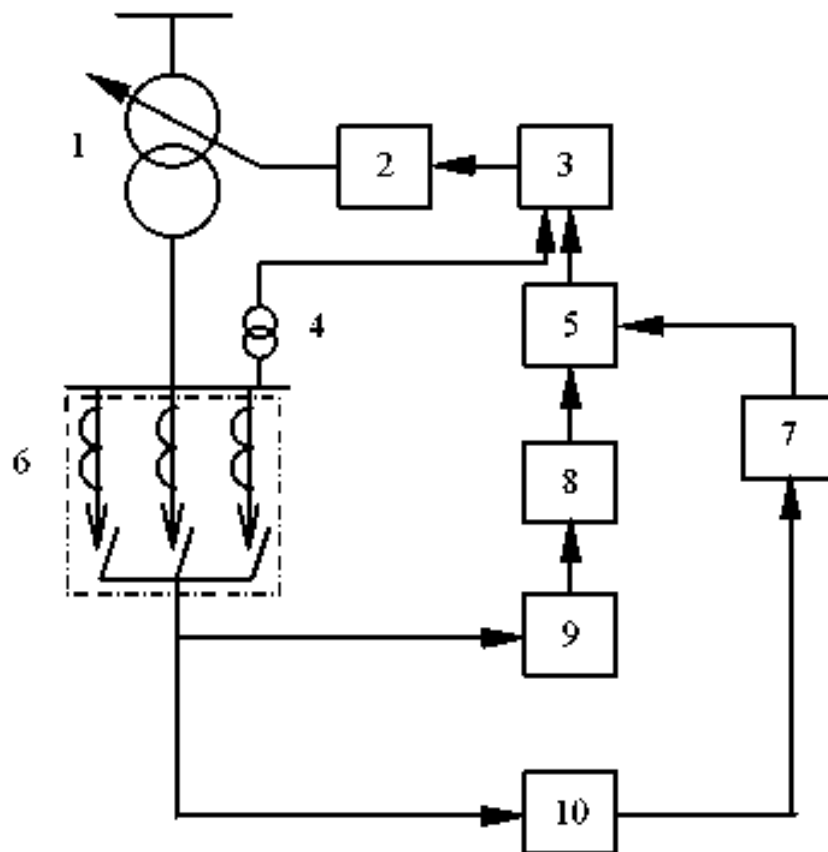


Рисунок 1.9 - Функціональна схема пристрою для автоматичного регулювання напруги вузла електричної мережі

Постійна складова струму навантаження, яка виділяється фільтром 9 і проходить через функціональний перетворювач 8, забезпечує оптимальну напругу в центрі живлення за умовами найменшої кількості споживаної електроенергії поза допустимим діапазоном зміни напруги. Змінна складова з блоків струмової компенсації 6, яка виділяється фільтром 10 і проходить через підсилювач 7, забезпечує зміну напруги в центрі живлення при коливаннях навантаження у споживачів. Обидві складові додаються одна до

одної в суматорі 5 і сума поступає на блок автоматичного регулювання напруги 3. На цей же блок поступає значення напруги вторинної обмотки силового трансформатора, яка вимірюється датчиком напруги 4.

Хоча описаний пристрій враховує зміну навантаження споживачів, при частих коливаннях цього навантаження кількість перемикачів пристрою РПН 2 буде досить великою, що призведе до швидкого спрацювання ресурсу контактів пристрою РПН.

Відомий також спосіб регулювання напруги силового трансформатора, в якому для зменшення зони нечутливості регулятора передбачається після перемикачів блокувати команду на перемикач в протилежну сторону, доки не буде явної тенденції регульованої напруги до зміни в сторону попереднього регулювання. На рисунку 1.10 приведена функціональна схема пристрою, який реалізує даний спосіб регулювання напруги.

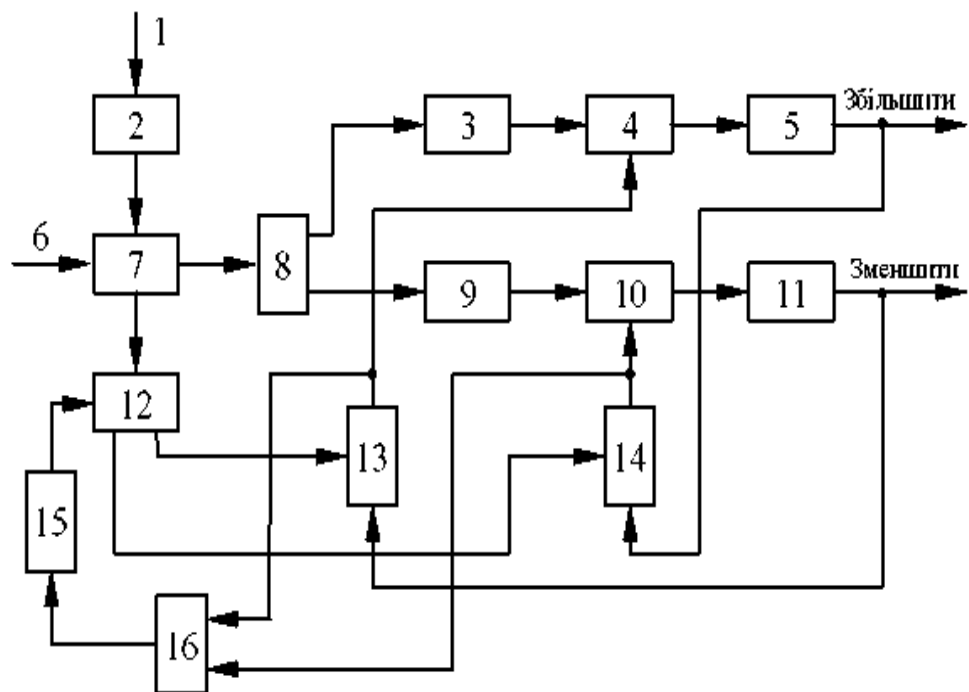


Рисунок 1.10 - Пристрій для регулювання напруги силового трансформатора.

На рисунку 1.10: 1 – вхід вимірювання струму; 2 – датчик струму; 3, 9, 15 – елемент затримки часу; 4, 10 – елемент заборони; 5, 11 – виконавчі елементи; 6 – вхід вимірювання регульованої напруги; 7 – блок визначення

напруги в контрольованій точці лінії електропередачі; 8 – пороговий блок; 12 – блок контролю зміни регульованої напруги; 13, 14 – елементи пам'яті; 16 – логічний елемент "АБО".

В даному пристрої по закінченні перемикання блок контролю зміни регульованої напруги 12 починає відслідковувати напрям зміни напруги і, якщо напруга має тенденцію до зменшення (або збільшення), то блок 12 подає сигнал скиду на блок пам'яті 14 (або 13), дозволяючи перемикання у зворотний бік. Логічний елемент "АБО" 16 і елемент часової затримки 15 необхідні для відключення блока 12 на час перемикання пристрою РПН, що забезпечує стійкий алгоритм роботи пристрою.

В даному способі регулювання напруги на силовому трансформаторі не враховується напрям зміни напруги після виходу її за межі

зони нечутливості, що призводить до зайвих перемикань пристрою РПН.

На підстанціях широко використовуються пристрої автоматичного регулювання трансформаторів під навантаженням типу АРТ-1Н, перевагою яких є підвищення стійкості регулювання напруги за рахунок затримки сигналу на перемикання на деякий час. Цим досягається уникнення реакції системи на короточасні коливання напруги, а тим самим підвищується надійність системи в цілому. До того ж даний пристрій дає змогу проводити оперативну дистанційну зміну уставки, що нерідко використовується в різних системах регулювання напруги, побудованих на цьому регуляторі. Однак даний пристрій не відслідковує напрямок зміни напруги і тим самим нерідко виконує зайві перемикання пристрою РПН, що негативно відображається на ресурсі останнього. Також АРТ-1Н не здатний швидко реагувати на значні відхилення напруги, що знижує якість регулювання напруги.

Існує спосіб регулювання напруги силового трансформатора, який передбачає автоматичну зміну уставки регулятора напруги при перевищенні напругою струмової компенсації граничного значення. Це запобігає

недопустимому підвищенню регульованої напруги на близькорозташованих споживачах при великому струмі навантаження лінії. Функціональна схема пристрою, що реалізує даний спосіб, приведена на рисунку 1.11, де: 1, 2 – датчики струму; 3 – пусковий орган; 4 – елемент затримки часу; 5 – виконавчий орган; 6 – елемент блокування струмової компенсації; 7 – силовий трансформатор; 8 – трансформатор напруги; 9 – електропривод; 10 – блок автоматичного регулювання.

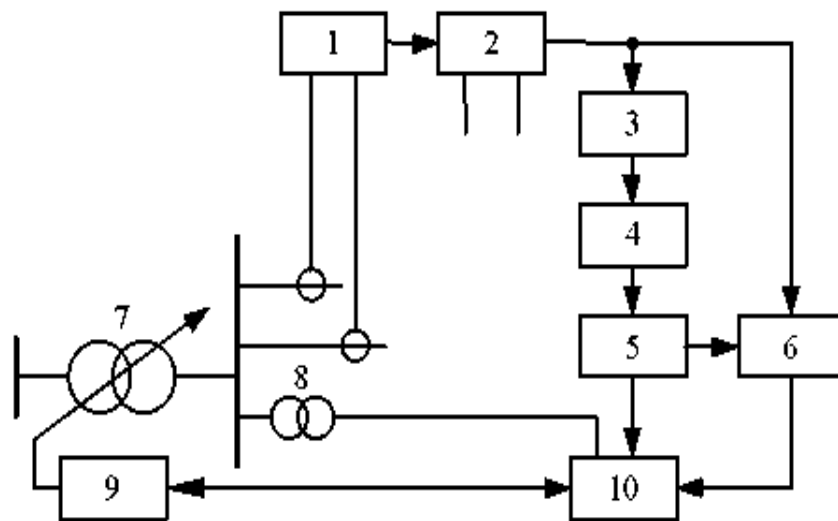


Рисунок 1.11 - Функціональна схема пристрою регулювання напруги силового трансформатора.

В даному пристрої пусковий орган 3 порівнює сумарну напругу струмової компенсації з максимально допустимою і при її перевищенні подає сигнал через блок часової затримки 4 на виконавчий орган 5, який видає команди на зміну уставки блока автоматичного регулювання 10 і блокування струмової компенсації на елемент блокування струмової компенсації 6. Кількість датчиків струму 1 і 2, кожний з яких має два струмових входи, може бути довільною (в залежності від кількості змінних регулювання). При зменшенні сумарної напруги струмової компенсації до значення, меншого за максимально допустиме, пристрій повертає блок автоматичного регулювання

10 до нормального режиму роботи.

Схожий спосіб регулювання напруги реалізує пристрій для автоматичного регулювання напруги вузла електричної мережі, функціональна схема якого приведена на рисунку 1.12, де 1 – силовий трансформатор, 2 – пристрій РПН, 3 – блок автоматичного регулювання напруги, 4 – датчик напруги, 5 – функціональний перетворювач струму компенсації, 6 – блоки струмової компенсації.

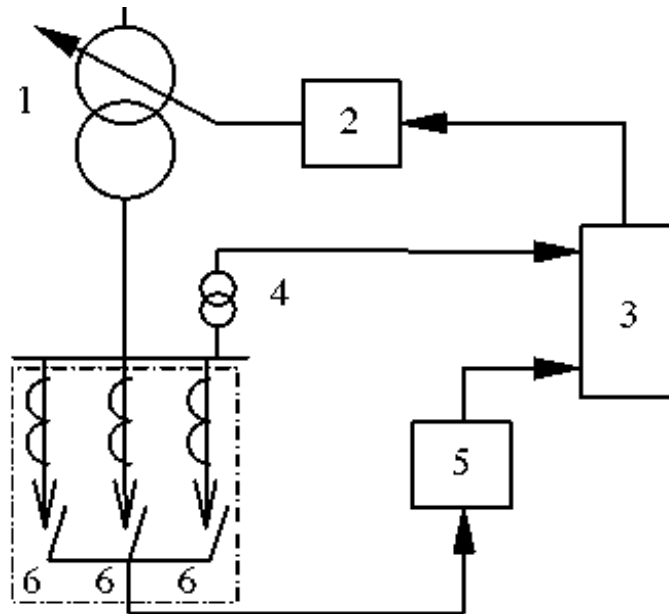


Рис. 1.12. Функціональна схема пристрою для автоматичного регулювання напруги вузла електричної мережі.

Даний пристрій в режимі мінімальних навантажень здійснює регулювання напруги за усередненими відхиленнями напруги, а при збільшенні навантажень до максимальних відбувається перехід до регулювання за граничними відхиленнями напруги у вузлах мережі з мінімізацією споживання неякісної енергії. Якість регулювання напруги на споживачах розподільчої електричної мережі підвищується за рахунок зниження кількості електроенергії, яка споживається поза допустимим діапазоном зміни напруги, при зміні навантаження в широких межах.

Обидва описані вище пристрої регулювання напруги змінюють уставку типового регулятора напруги АРТ-1Н, а тому мають ті ж самі обмеження.

Існує спосіб регулювання напруги за критерієм економічних збитків від відхилення напруги від нормованого значення. В описаному пристрою автоматичного регулювання напруги вузла електричної мережі за критерієм економічних збитків від неякісного енергопостачання, функціональна схема якого приведена на рисунку 1.13.

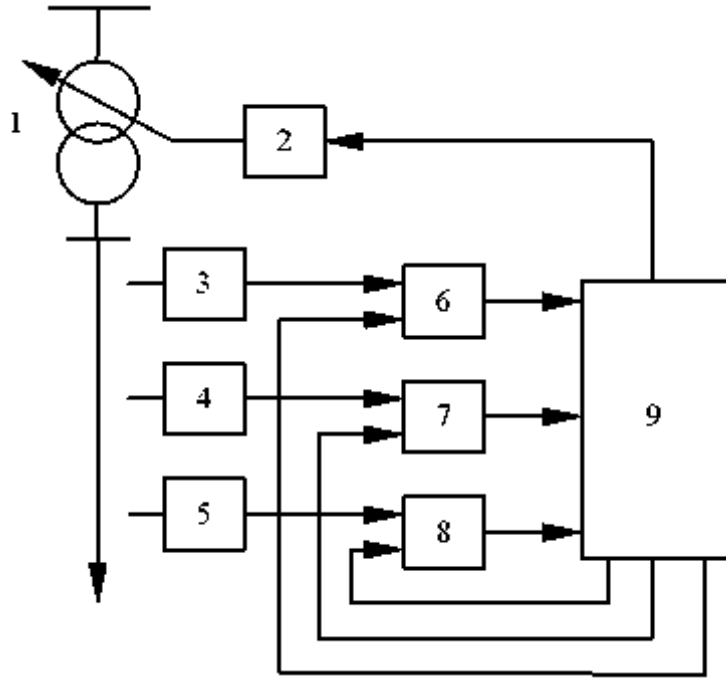


Рисунок 1.13 - Функціональна схема пристрою для автоматичного регулювання напруги вузла електричної мережі.

На рисунку 1.13: 1 – силовий трансформатор з пристроєм РПН, 2 – блок керування відпайками трансформатора, 3 – датчик напруги, 4 – датчик активної потужності, 5 – датчик реактивної потужності, 6–8 – аналогово-цифрові перетворювачі, 9 – мікроконтролер. Перемикання проводиться лише в тому випадку, коли воно приведе до значного зменшення збитків від неякісної електроенергії, зменшуючи тим самим кількість перемикань пристрою РПН.

Цей же спосіб регулювання напруги з дещо простішою реалізацією забезпечує пристрій. Як і попередні, такий спосіб регулювання напруги не дає можливості швидко відпрацювати значне різке відхилення напруги.

Спосіб регулювання напруги за розрахованими залежностями струму

від напруги в центрі живлення. Спосіб полягає в тому, що за залежностями струму і напруги в центрі живлення для n характерних режимів розподільчої мережі визначають оптимальну залежність за мінімумом втрат електроенергії з урахуванням обмежень напруги за мінімумом і максимумом і за вимірними поточними значеннями I та U поточний режим ідентифікують з одним з n заздалегідь розрахованих характерних режимів. За оптимальною залежністю визначають оптимальну напругу для даного режиму і здійснюють перемикання РПН з попередньою перевіркою допустимості такого перемикання. Функціональна схема пристрою, який реалізує цей спосіб, приведена на рисунку 1.14, де: 1 - шини високої напруги, 2 - ЕОМ керування, 3- датчик-перетворювач, 4- силовий трансформатор з пристроєм РПН, 5 - блок пам'яті, 6 - датчик струму, 7, 13 - аналогово-цифрові перетворювачі, 8, 9, 11 - блоки порівняння, 10- блок регулятора, 12 - датчик напруги, 14 - шини низької напруги.

Кожному характерному режиму розподільчої мережі відповідає значення напруги, при якому втрати енергії мінімальні. Значення напруги і повного струму на вторинній стороні трансформатора 4 постійно контролюються за допомогою датчиків струму 6 і напруги 12. Ці значення поступають через аналогово-цифрові перетворювачі 7 і 13 в блок 2 ЕОМ керування. В блоці 2 відбувається ідентифікація поточного режиму мережі з одним із заздалегідь розрахованих характерних режимів роботи даної мережі і за відомими залежностями визначається значення оптимальної напруги, яка відповідає мінімуму втрат електроенергії в усіх елементах розподільчої мережі.

напруги, 31 - блок телевимірювання струму, 32 - блок телесигналізації
положення комутуючих апаратів в електромережі.

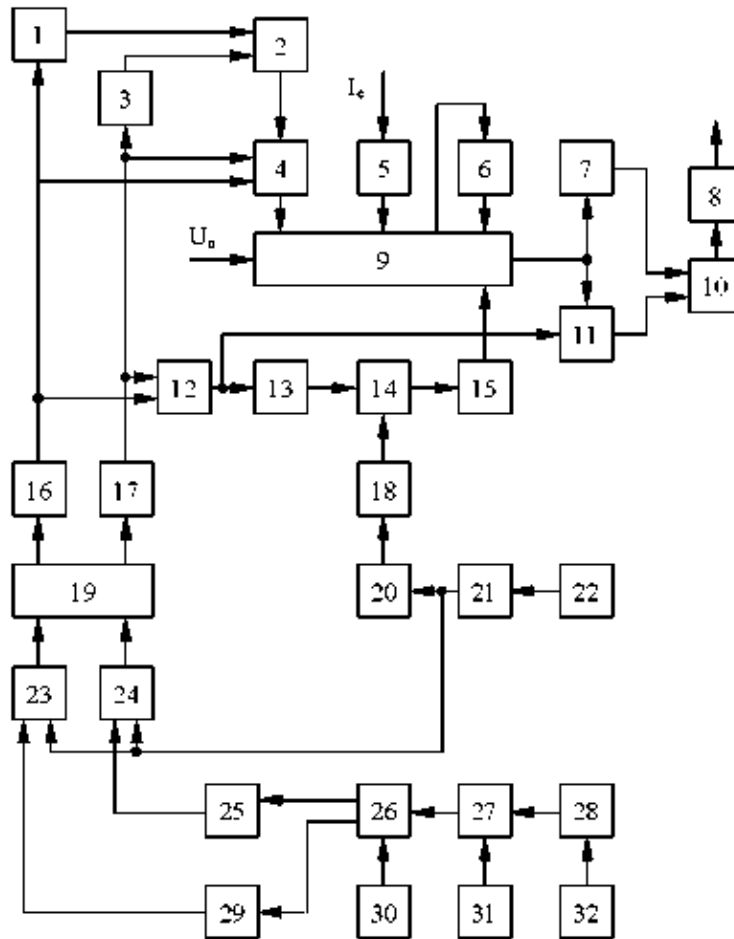


Рисунок 1.15 - Функціональна схема пристрою регулювання напруги в електричних мережах.

Результати цього моделювання додаються між собою або порівнюються, в залежності від обраного алгоритму регулювання. Від визначеної в результаті даної операції напруги в блоці 26 віднімається значення з блока телевимірювання напруги 30. Якщо різниця додатна

і перевищує задану величину, то на вихід блока 26 подається команда "Вище", якщо від'ємна, але за модулем перевищує задану величину, то на вихід подається команда "Нижче". Ці команди через певний час затримки (елементи часу 25 або 29 в залежності від команди) запускають блок телекерування 19, який передає відповідну команду в блок оперативної зміни

уставки за напругою 4, вмикаючи відповідну, заздалегідь вибрану корекцію.

Блок оперативної зміни уставки за напругою 4 являє собою групу відпайок від вхідного трансформатора блока стабілізації 9 і групу релейних пристроїв для підключення відповідної відпайки, здійснюючи тим самим зміну напруги уставки блока стабілізації 9.

Описаний спосіб регулювання напруги підвищує якість регулювання напруги при змінах схеми електричної мережі, але має обмеження, характерні для регуляторів АРТ-1Н.

Для підстанцій, де встановлені трьохобмоточні трансформатори з пристроями РПН і в наявності є місцеві джерела реактивної потужності (синхронні двигуни, батареї статичних конденсаторів. Згідно даного способу регулювання при відхиленні напруги від заданого значення спочатку змінюють струм збудження синхронних двигунів для зміни рівня генерованої реактивної потужності з метою компенсації відхилення напруги. Якщо такого впливу недостатньо, то підключають або відключають статичні джерела реактивної потужності і в разі необхідності подальшого регулювання перемикають відпайки трансформатора. При цьому збільшення або зменшення реактивної потужності від місцевих джерел здійснюється в межах, встановлених у відповідності з режимом регулювання реактивної потужності для енергосистеми. Застосування даного способу регулювання напруги підстанції зменшує кількість перемикачів пристрою РПН, але можливе лише там, де є місцеві джерела реактивної потужності.

При регулюванні напруги підтримувати задане співвідношення відхилень напруги на вторинній та первинній сторонах силового трансформатора. Завдяки цьому отримують сумарно кращі напруги в обох під'єднаних мережах. Досягається мета тим, що, крім сигналу відхилення напруги вторинної обмотки, вводиться сигнал відхилення напруги первинної обмотки.

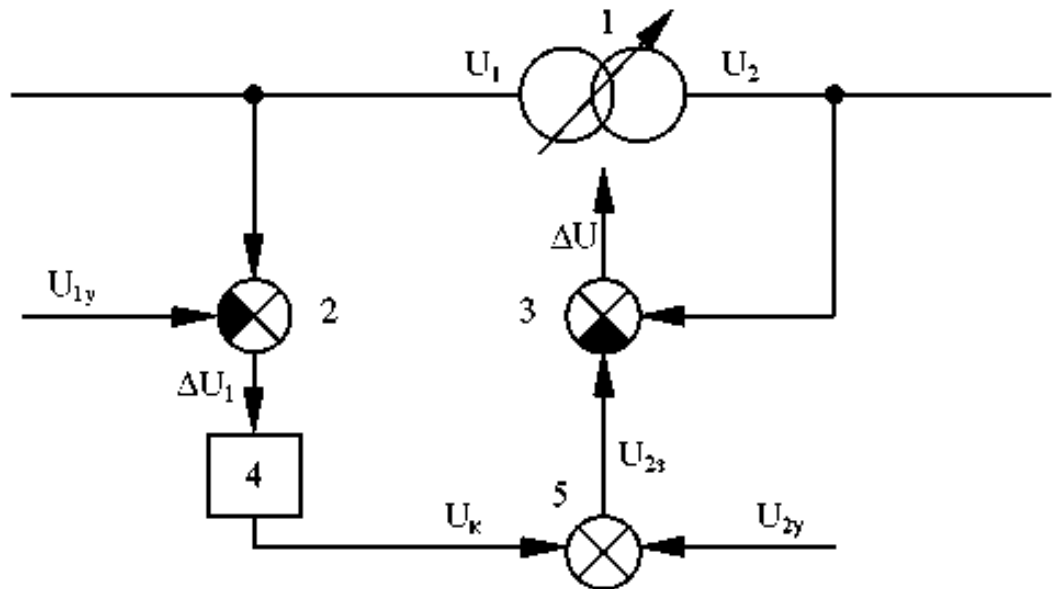


Рисунок 1.16 - Функціональна схема пристрою регулювання напруги електричної підстанції.

Керування пристроєм РПН трансформатора 1 виконують в залежності від значення і знака сигналу U , пропорційного відхилення напруги U_2 вторинної обмотки. Величину заданого значення U_{23} визначають як суму уставки U_{2y} і коригуючого сигналу U_k .

Таким чином при зниженні напруги на первинній стороні (наприклад, внаслідок дефіциту реактивної потужності) вторинна напруга також підтримується зниженою, що сприяє зменшенню дефіциту, і, відповідно, зменшенню відхилення напруги на первинній стороні. При цьому співвідношення відхилень напруг обох обмоток трансформатора через коефіцієнт а виходить (з точністю до зони нечутливості) рівним заданому.

Даний спосіб регулювання напруги, підвищуючи сумарну якість напруги обох мереж, знижує якість напруги на кінцевих споживачах, що є виправданим не в усіх випадках.

Спосіб регулювання напруги електричної підстанції з врахуванням напруги первинної обмотки і струмів споживачів. Коефіцієнт трансформації силового трансформатора змінюють в залежності від відхилення напруги його вторинної обмотки від заданого значення, яке змінюється в залежності

від коректуючого сигналу. При цьому вимірюють напругу первинної обмотки, порівнюють її із заданою напругою і отримане відхилення використовують як коректуючий сигнал. Додатково вимірюють значення струмів в кожній з груп однорідних споживачів, коректують їх в залежності від економічних характеристик підключених споживачів, перетворюють в напруги і отримані відхилення використовують як додаткові коректуючі сигнали. Оскільки напрям зміни напруги після виходу її за межі зони нечутливості не враховується, то в процесі регулювання з'являються зайві перемикання, що зменшує термін роботи пристрою РПН.

Спосіб регулювання напруги електричного вузла, який має переважно двигунове навантаження. Згідно даного способу регулювання напруги перемикання відпайок трансформатора проводиться з урахуванням мінімуму втрат активної потужності, який залежить від коефіцієнта завантаження двигунів, що входять до складу вузла. Для більшості інших споживачів (не двигунів) даний спосіб регулювання напруги не забезпечує необхідної якості регулювання.

Спосіб регулювання напруги трансформаторів для близькорозташованих підстанцій. На кожній підстанції формують імпульси, періоди яких не співпадають. Перемикання здійснюється при виході напруги за межу зони нечутливості і появи імпульсу. Таким чином, виключається можливість одночасного перемикання пристрою РПН на декількох підстанціях. Цим підвищується надійність системи шляхом уникання нестійкого регулювання.

В автоматичному регуляторі для силових трансформаторів передбачено визначення знака похідної огинаючої регульованої напруги, що дає змогу зменшити кількість перемикань пристрою РПН і тим самим підвищити надійність електропостачання. Функціональна схема даного регулятора приведена на рисунку 1.17.

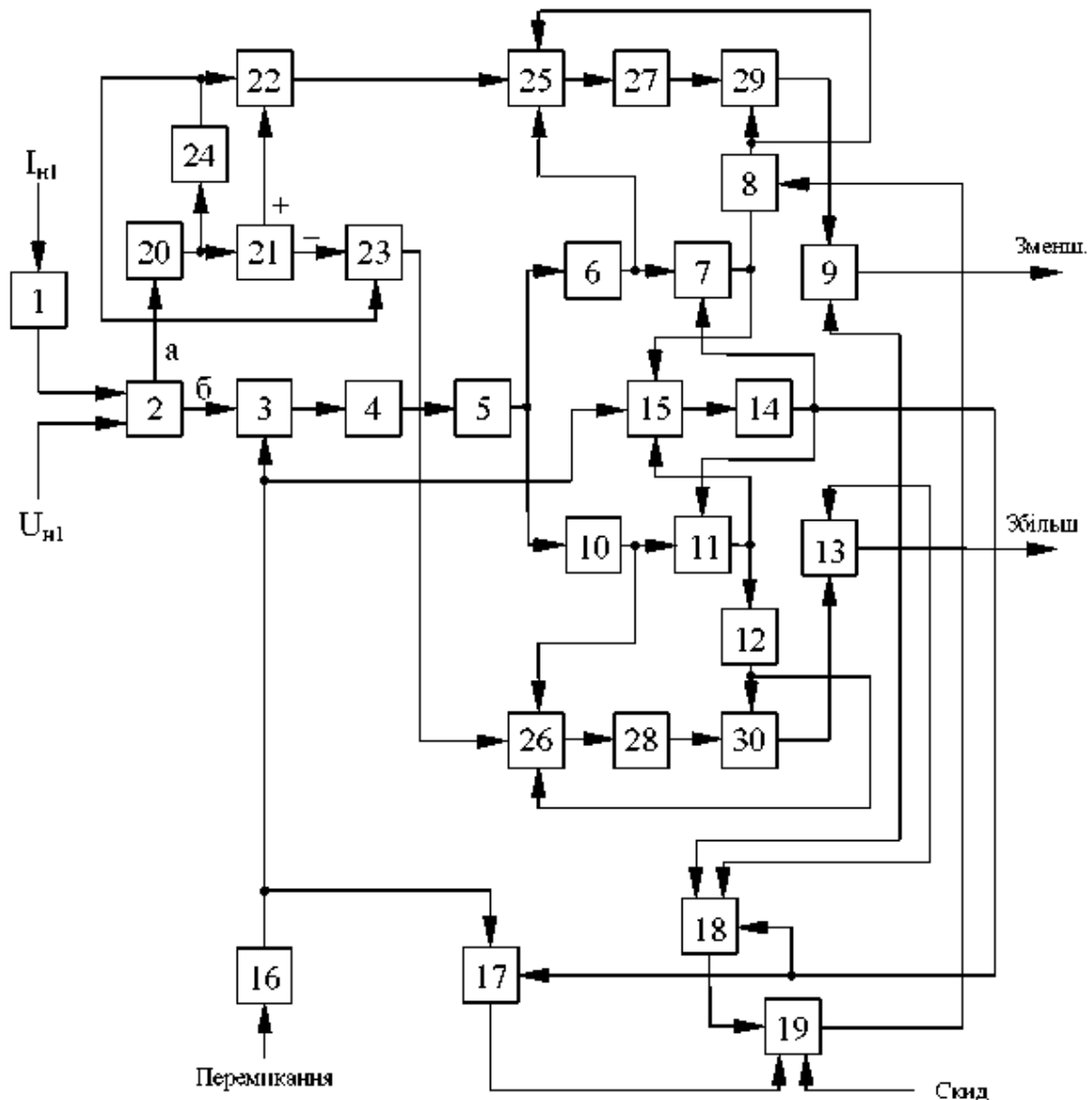


Рисунок 1.17 - Функціональна схема автоматичного регулятора для силових трансформаторів.

Регулятор складається з датчика струму 1, суматора 2, блока формування і зміни зони нечутливості 3, блока формування і зміни уставки напруги 4, порогового блока 5, перетворювачів імпульсного сигналу в потенційний 6 і 10, блоків часової затримки 7 і 11, блоків заборони 8 і 12, вихідних релейних елементів 9 і 13, генератора тактових імпульсів 14, блока зміни періоду тактових імпульсів 15, блока перемикання генератора тактових імпульсів в нормальному режимі 16, блока контролю електропривода в режимі "Застрягання" 17, блока контролю схеми регулятора і електропривода

в режимі "Рух відсутній" 18, блока блокування 19, блока визначення похідної огинаючої регульованої напруги 20, блока визначення знаку похідної 21, логічних елементів "АБО" 22 і 23, логічного елемента "НІ" 24, тривходових ключів 25 і 26, блоків пам'яті 27 і 28, логічних елементів "І" 29 і 30.

В даному пристрої сигнал перемикання відпайки трансформатора в сторону зменшення відхилення напруги з'являється тоді, коли значення напруги знаходиться за межами зони нечутливості протягом часу τ і не має тенденції до повернення в зону. Остання умова забезпечується блоком визначення похідної огинаючої регульованої напруги.

За допомогою блоків 16-19 проводиться діагностування схеми регулятора і електропривода і в разі несправності робота регулятора блокується.

Визначення похідної огинаючої регульованої напруги дає змогу уникнути зайвих перемикань пристроєм РПН в тих випадках, коли напруга виходить за межі зони нечутливості, але під впливом зовнішніх факторів поступово повертається до зони.

Обмеженням даного і попереднього способів регулювання напруги є те, що при їх використанні неможливо швидко повертати напругу до нормованого значення при її значних відхиленнях, оскільки кожне перемикання пристрою РПН затримується на час t . Внаслідок цього знижується якість регульованої напруги.

Пристрій для регулювання напруги на паралельно працюючих трансформаторах. Для мінімізації урівнюючих струмів і забезпечення правильного зустрічного регулювання незалежно від кількості паралельно включених трансформаторів підсумовування струмів трансформаторів відбувається за допомогою проміжних трансформаторів струму. Схожий спосіб регулювання напруги реалізує пристрій. Дані два пристрої не забезпечують оптимального регулювання напруги при роботі з одним трансформатором.

Пристрій для регулювання напруги трансформатора, має незалежні

канали для обох напрямів регулювання. Кожен канал містить генератор пилоподібних імпульсів, вхідний диференційний підсилювач, компаратор, одинівбратор, реверсивний лічильник з перемикачем уставки часової затримки, вихідний клапан, підсилювач керування. Генератор лічильних імпульсів один на обидва канали. Пристрій дає змогу незалежно встановлювати верхній і нижній рівні напруги, час затримки регулювання в бік зменшення і збільшення напруги, вид регульовальної характеристики. Регулювання проводиться шляхом перемикання відпайок силового трансформатора в залежності від параметрів мережі. При роботі одного каналу другий автоматично встановлюється у вихідний стан.

Алгоритм регулювання напруги для виробництв електротермії. За математичними залежностями напруг від навантажень електропечей у вигляді рівнянь лінійної регресії розраховані дані станів моделі регулювання напруги, де вхідними сигналами є інтервали змін напруг на шинах головної підстанції і активної потужності електропечей, а вихідними - номери відпайок РПН. Вхідні і вихідні дискретні сигнали закодовані наборами логічних нулів та одиниць. Логічний алгоритм регулювання напруги отриманий у вигляді алгебри логіки.

Подібний спосіб регулювання напруги, де уставка регулятора задається програмою, що відображає графік навантаження. Використання двох вищеописаних способів регулювання напруги можливе лише при детермінованих змінах навантаження.

Автоматичний регулятор напруги, побудований на базі мікропроцесора. Цей регулятор перемикає відпайки силового трансформатора в залежності від відхилення контрольованих параметрів режиму. До складу регулятора входять перетворювачі аналогових сигналів напруги, активної та реактивної потужностей в дискретну форму. Інші перетворювачі забезпечують задання уставок за контрольованими параметрами. За допомогою процесора формується коригуючий вплив в залежності від відхилення фактичного значення параметра від уставки. Даний регулятор

напруги передбачає взаємодію з подібними регуляторами на інших трансформаторах.

Для створення систем використано типовий набір технічних засобів. Три вищезазначені пристрої не відпрацьовують значні відхилення напруги. Нижній рівень цієї системи складають автоматичні регулятори напруги у вузлах живлення. Цикл роботи регуляторів -20-90 с, вони забезпечують місцеве регулювання напруги. Вторинне регулювання являє собою корекцію уставок регуляторів напруги по каналах зв'язку і має бути повільнішим, ніж первинне. Найвищим рівнем ієрархії є глобальне регулювання- координація регулювання напруги в районах електричної мережі з визначенням вузлів, в яких регулювання має найбільший вплив.

1.2.3. Трансформатори з безконтактними пристроями РПН.

Пристрій РПН є елементом з обмеженим ресурсом перемикавання. До того ж час перемикавання відпайки >5 с. Цих недоліків не мають безконтактні пристрої РПН, в яких застосовуються напівпровідникові силові ключі. Трансформатори, обладнані такими пристроями мають час перемикавання відпайки >10 мс, а саме перемикавання не супроводжується появою вищих гармонік, відповідно покращується динамічна стійкість системи регулювання напруги.

Пристрій для регулювання змінної напруги, в якому для перемикавання відпайок використовуються напівпровідникові силові ключі. Функціональна схема пристрою приведена на рисунку 1.18.

В режимі мінімальних навантажень ключ 1 ввімкнений, а ключ 2 вимкнений. Напруга на вторинній обмотці трансформатора мінімальна. При максимальному навантаженні ключ 2 вмикають, а ключ 1 вимикають. Напруга на вторинній обмотці максимальна. В проміжних режимах необхідну напругу підтримують, змінюючи кути керування ключів 1 і 2.

Даний пристрій не забезпечує захист ключів від струмів коротких замикань. Також в проміжних режимах роботи в мережі з'являються вищі гармоніки.

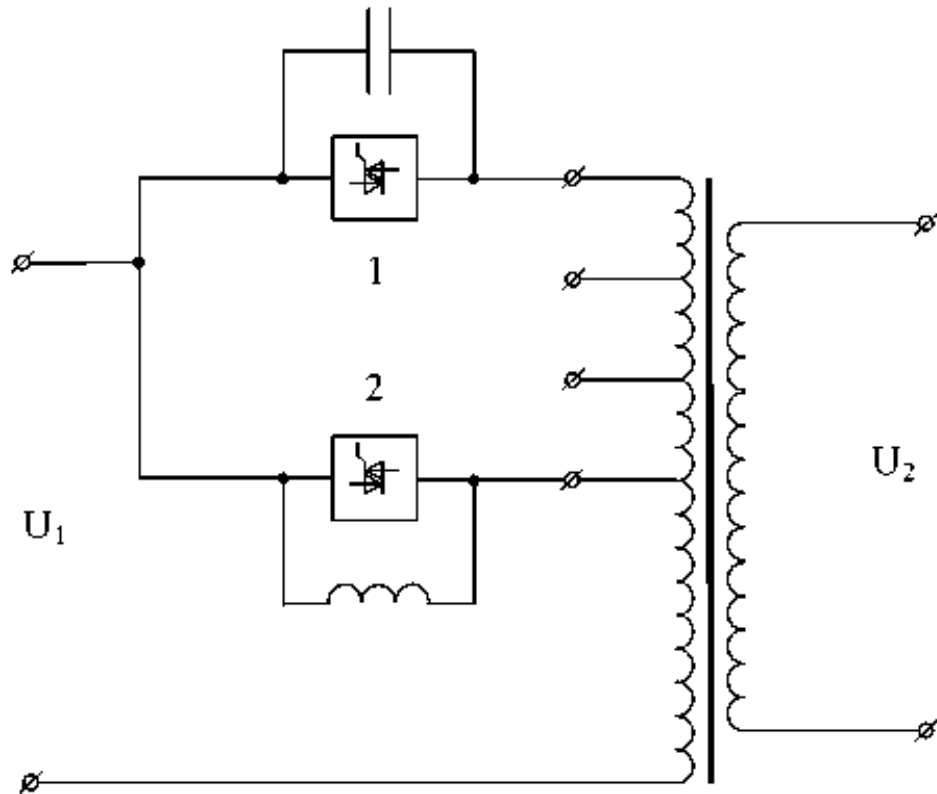


Рисунок 1.18. Функціональна схема пристрою для регулювання змінної напруги.

В запропонованому пристрої для перемикання відгалужень силового трансформатора за допомогою симісторних ключів. На рисунку 1.19 приведена функціональна схема вказаного пристрою, де: 1 – система керування; 2, 3 – симісторні ключі; 4 – датчик струму короткого замикання; 5 – посилений симісторний ключ аварійного режиму; 6 – силовий трансформатор; 7 – варистор; 8 – формувач керуючих імпульсів для посиленого ключа аварійного режиму; 9 – навантаження.

При нормальній роботі пристрою система керування 1 подає імпульси на один з симісторних ключів 2, 3, 5, вмикаючи їх. При виникненні короткого замикання датчик 4 посилає системі керування 1 сигнал. Остання припиняє подачу імпульсів керування, працюючий симісторний ключ вимикається, варистор 7 починає пропускати струм, живлячи формувач 8, який видає сигнал на ключ 5, і той пропускає через себе аварійний струм. Після усунення короткого замикання система керування 1 знов вступає в роботу.

Недоліком даного пристрою є те, що в процесі регулювання не враховується струмова компенсація.

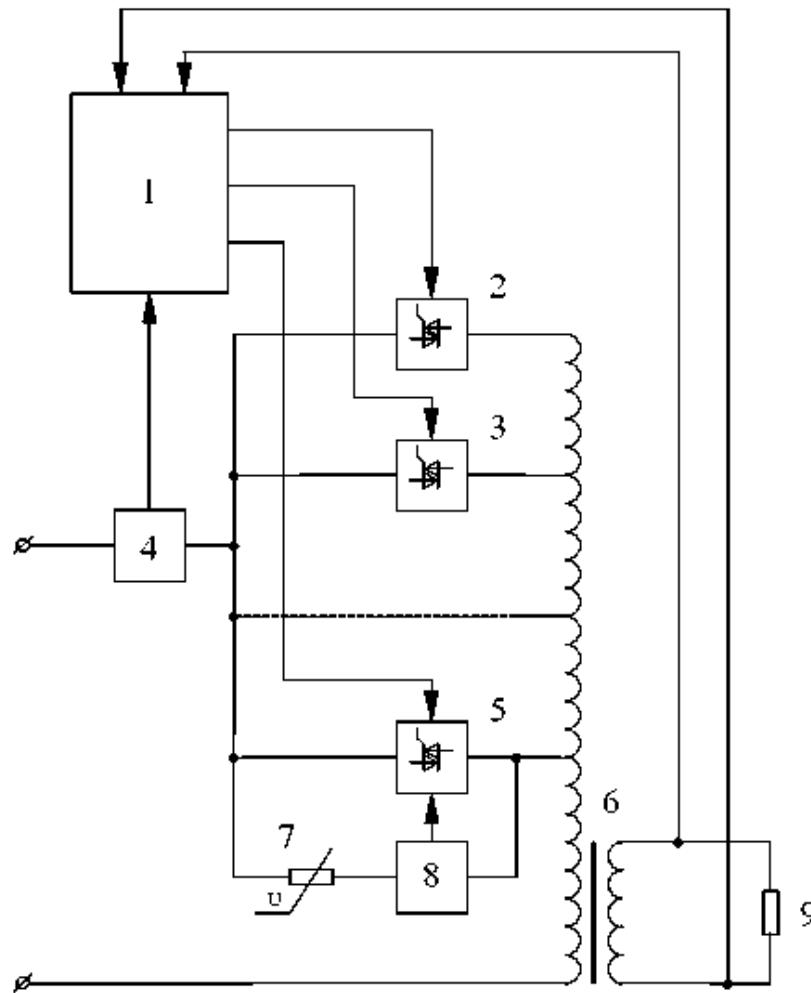


Рисунок 1.19 - Функціональна схема пристрою для перемикання відгалужень силового трансформатора.

В пристрої для регулювання змінної напруги первинна обмотка силового трансформатора містить дві паралельні групи обмоток, кожна з яких виконана секціонованою. Комутація проводиться за допомогою тиристорних ключів. Функціональна схема пристрою представлена на рисунку 1.20, де 1 – силовий трансформатор, 2 – навантаження, 3, 35 – вхідні виводи, 4–11 – діоди, 12 – 19 – тиристири, 20 – 27 – регулювальні секції первинної обмотки трансформатора, 28 – 31 – запобіжники, 32, 33 – швидкодіючі вакуумні контактори, 34 –

основна секція первинної обмотки трансформатора, 36 – датчик струму, 37 – амплітудний дискримінатор.

Для підвищення напруги на навантаженні 2 вмикають в довільний момент часу відповідного напівперіоду тиристори 16 і 12, що призводить до шунтування регулювальної секції 24 в додатний напів-період і секції 20 у від’ємний напівперіод. Для підвищення вихідної напруги ще на один ступінь додатково вмикають в довільний момент часу відповідного напівперіоду тиристори 17 і 13. При цьому в кожній групі обмоток трансформатора шунтуються вже по дві регулювальні секції 24 і 25 та 20 і 21 відповідно.

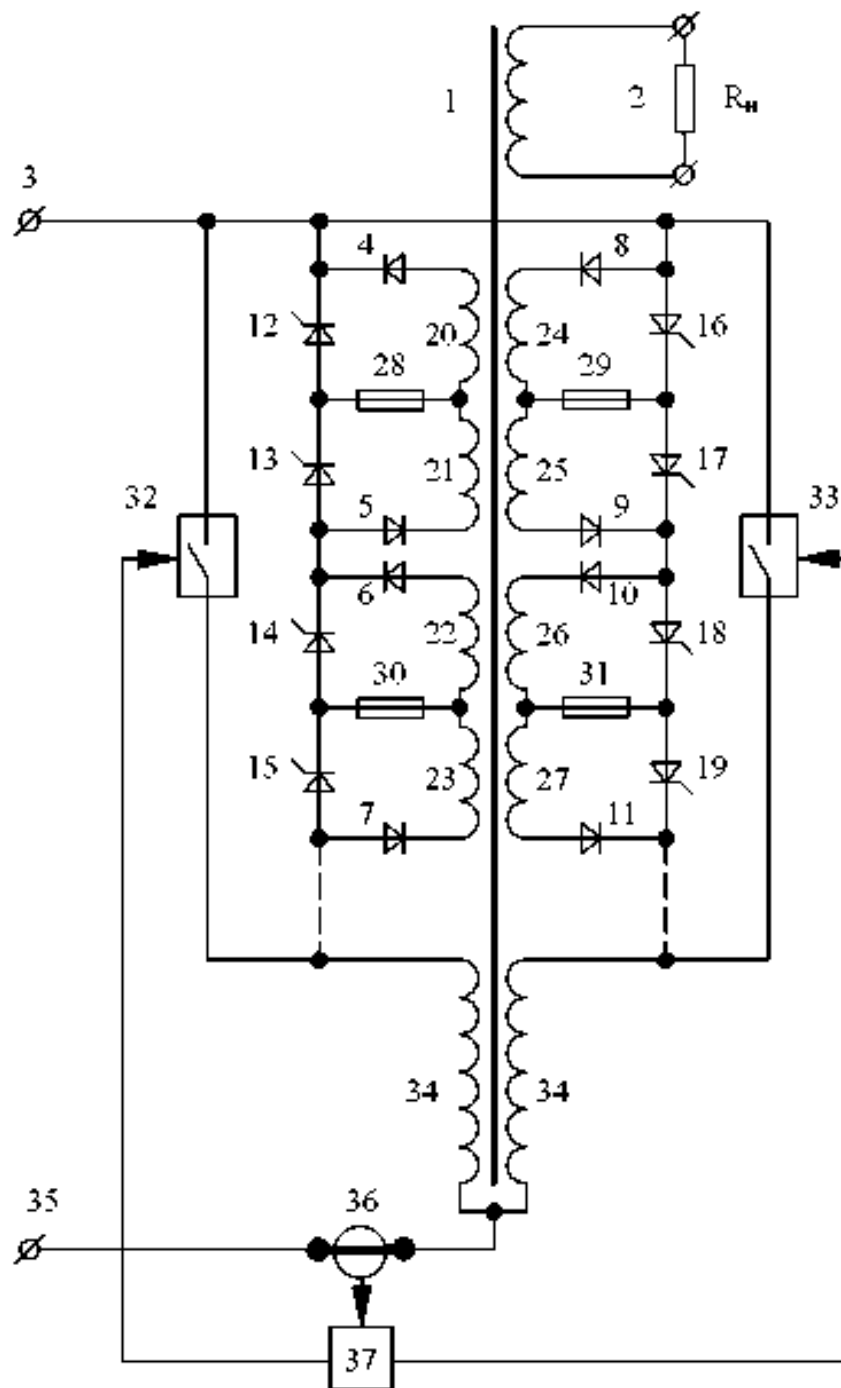


Рисунок 1.20 - Пристрій для регулювання змінної напруги.

Максимальна вихідна напруга на навантаженні 2 буде тоді, коли включені всі тиристири 12–19. При цьому всі регульовальні секції 20–

27 виявляються зашунтованими, а напруга мережі живлення прикладена лише до основної обмотки.

В разі пробою будь-якого діоду, наприклад діоду 8 або діоду 4, запобіжник 29 або 28 відповідно захистить тиристири від виникнення

аварійного режиму роботи. При виникненні короткого замикання в колі навантаження 2 по сигналу амплітудного дискримінатора 37, пов'язаного з датчиком струму 36, спрацьовують швидкодіючі вакуумні контактори 32 і 33, захищаючи діоди та тиристори від ушкодження внаслідок різкого зростання струму навантаження.

Недоліком даного пристрою є застосування двох груп обмоток, які працюють в різні напівперіоди, що призводить до значного збільшення вартості трансформатора.

Також відомий пристрій для перемикання відгалужень регулюючої обмотки трансформатора під навантаженням, який містить два вакуумних вимикачі, коло розвантаження з тиристорною комутацією, контактори. Цей пристрій дає змогу зменшити знос контактів перемикача, але має високу вартість.

Запропонований спосіб регулювання напруги, який передбачає зміну коефіцієнта трансформації силового трансформатора шляхом зміни кількості витків вторинної обмотки. Для комутації відпайок трансформатора запропоновано використовувати тиристорні ключі. Функціональна схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб регулювання напруги приведена на рисунку 1.21, де 1 – блок керування, 2 – система імпульсно-фазового управління (СІФУ), 3–12 – тиристорні ключі.

Спосіб реалізується таким чином. На блок керування 1 надходить сигнал, відповідний необхідній величині напруги на навантаженні. Блок 1 формує пропорційний сигнал для блока СІФУ 2, який в свою чергу формує і подає на один з блоків 3–12 відповідні імпульси, що вмикають відповідний ключ. З метою уникнення міжвиткових коротких замикань необхідно, щоб лише один ключ був відкритий, тому відкриття наступного ключа відбувається лише після закриття попереднього. У випадку, коли включений блок 8, вторинна напруга відповідає номінальному значенню. При включенні інших ключів одержують значення напруг: 0,9; 0,92; 0,94; 0,96; 0,98; 1,02; 1,04; 1,06; 1,08, відповідно включенню блоків 3–7, 9–12.

Недоліком способу регулювання напруги, який реалізують два вищезначених пристрої, є те, що комутація проводиться по вторинній стороні силового трансформатора, де при значній потужності трансформатора струми досягають декількох тисяч ампер. Таким чином кожен ключ буде складений з декількох паралельних тиристорів, що є економічно невигідним.

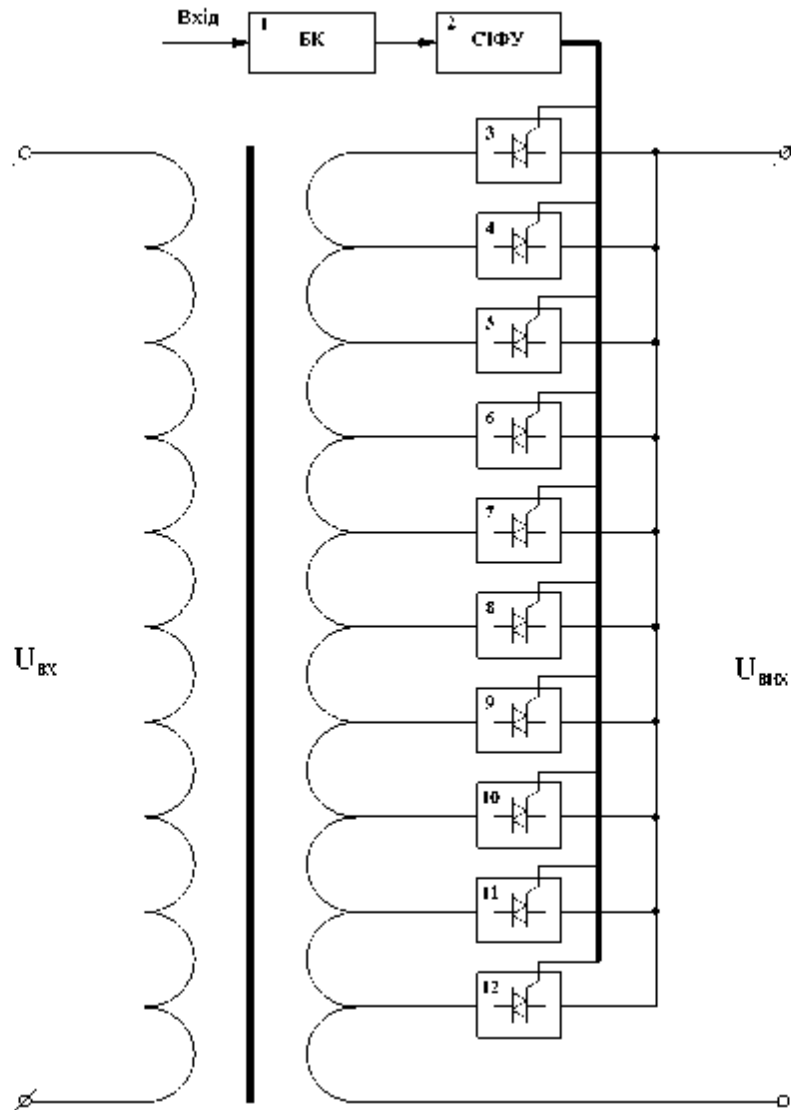


Рисунок 1.21 - Функціональна схема пристрою регулювання напруги трансформатора з тиристорним пристроєм РПН

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ

2.1. Дослідження роботи системи регулювання напруги силового трансформатора з пристроєм РПН.

Відомо, що аналіз будь-якої системи автоматичного регулювання (САР) після її ідентифікації починають з оцінювання стійкості. Для цього насамперед використовують різні критерії стійкості. Але дослідити стійкість систем, до складу яких крім лінійних входять нелінійні, імпульсні та цифрові елементи, за допомогою відомих критеріїв стійкості неможливо.

Тому оцінку стійкості досліджуваної САР доцільно сумістити з оцінкою якості її перехідних процесів, які у випадку стійкої системи будуть з часом затухати. В свою чергу перехідний процес в системі зручно оцінювати по її реакції на найбільші можливі стрибки задавальних або збурювальних впливів.

Очевидно, що синтезовані системи також відносяться до суттєво нелінійних, дослідження стійкості яких можна здійснити тільки шляхом комп'ютерного моделювання.

2.2. Дослідження роботи дворівневої системи регулювання напруги в електричних мережах

Оскільки в системі регулювання напруги, нижній рівень регулювання є незалежним, то моделювання проведемо для всієї системи в повному обсязі .

В процесі складання моделі припускається, що до районної підстанції 110/10 кВ з механічним пристроєм РПН підключені три підстанції нижнього рівня 10/0,4 кВ з тиристорними пристроями РПН. Регулятори цих підстанцій каналами зв'язку з'єднані з регулятором районної підстанції. Загальна модель системи регулювання напруги представлена на рисунку 2.2.

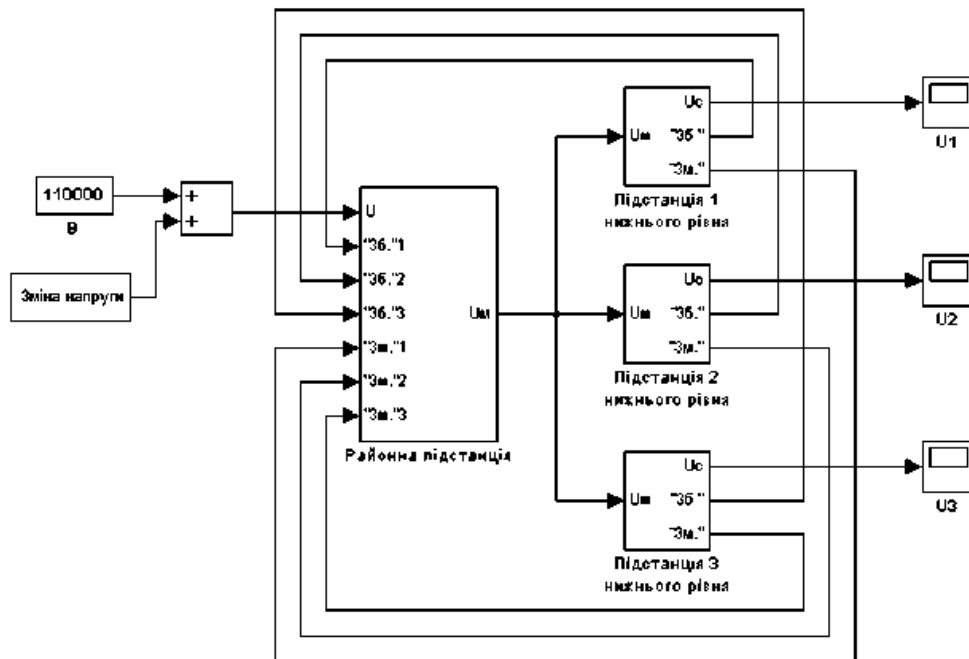


Рисунок 2.2 - Загальна модель системи регулювання напруги.

На рисунку 2.3 приведена модель районної підстанції, яка складається з моделей БПР, регулятора напруги, трансформатора з механічним пристроєм РПН та лінії електропередачі.



Модель регулятора напруги районної підстанції приведена на рисунку

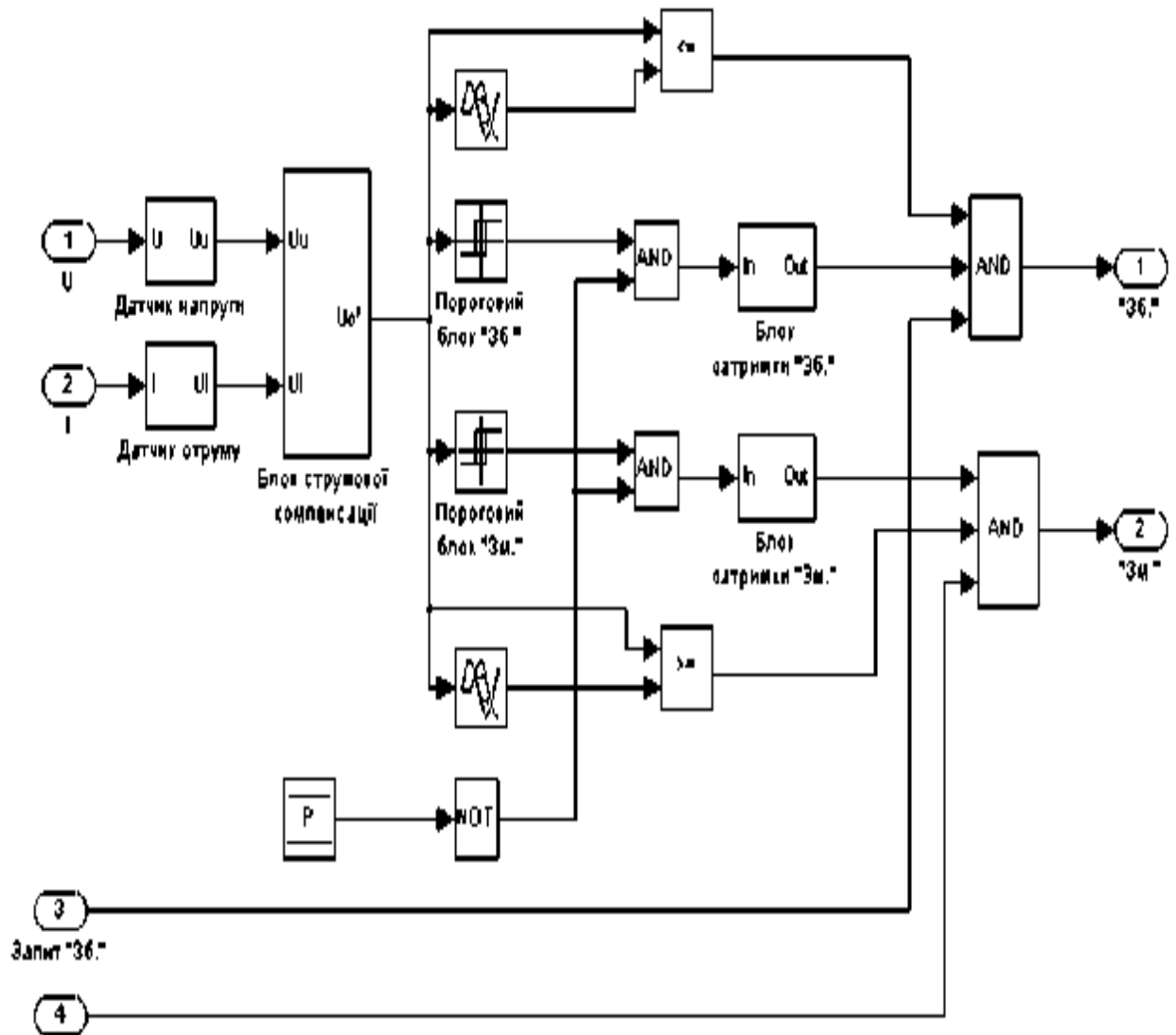


Рисунок 2.4 - Модель регулятора напруги районної підстанції.

Підстанцію нижнього рівня змодельовано схемою, приведеною на рисунку 2.5. Вона містить в собі моделі регулятора напруги, трансформатора нижнього рівня з тиристорним пристроєм РПН та лінії електропередачі. Моделі цих та усіх інших структурних елементів дворівневої системи регулювання напруги приведені на рисунку 2.5 – 2.14.

Модель регулятора напруги підстанції нижнього рівня отримано з моделі регулятора напруги районної підстанції, шляхом вилучення елементів, які визначають знак похідної значення регульованої напруги.

При моделюванні силових трансформаторів враховувались лише їх коефіцієнти трансформації. Адекватність математичних моделей цих

трансформаторів, а також пристроїв перемикання відпайок, датчиків струму і напруги, БПР та інших елементів системи регулювання напруги перевірено тестовим моделюванням для відомих вхідних сигналів і порівнянням результатів моделювання з наперед визначеними іншими методами результатами.

Слід зазначити, що моделювання проводилося для діючого значення напруги однієї фази.

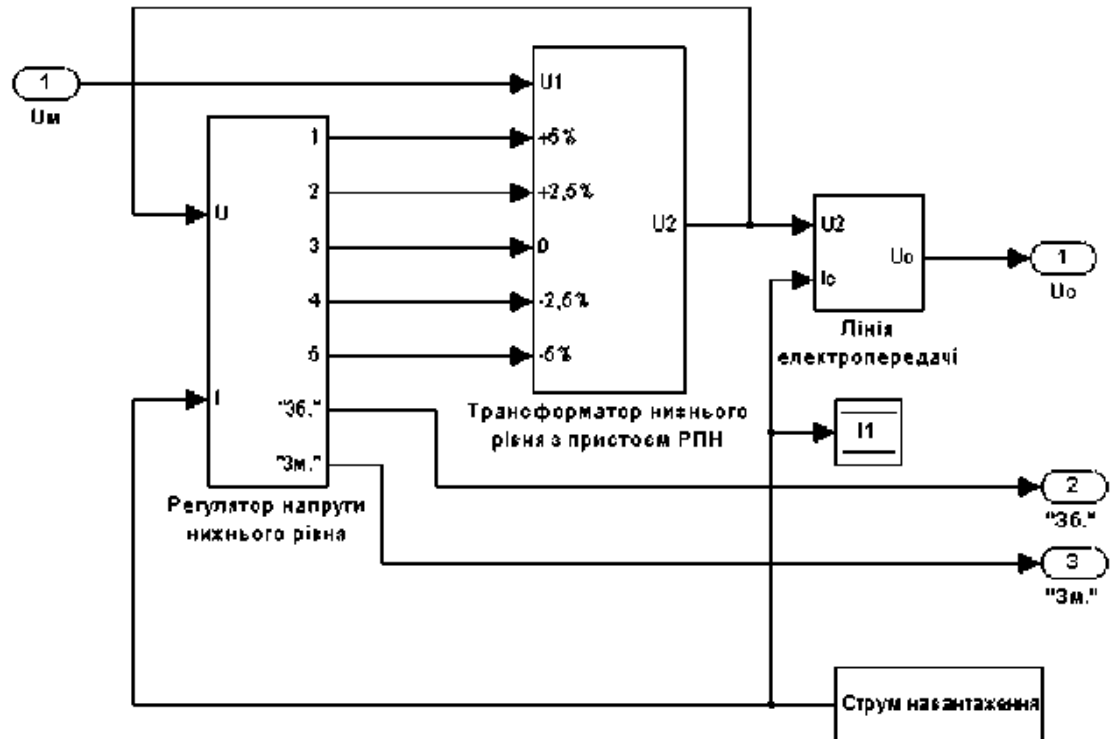


Рисунок 2.5 - Модель підстанції нижнього рівня 80

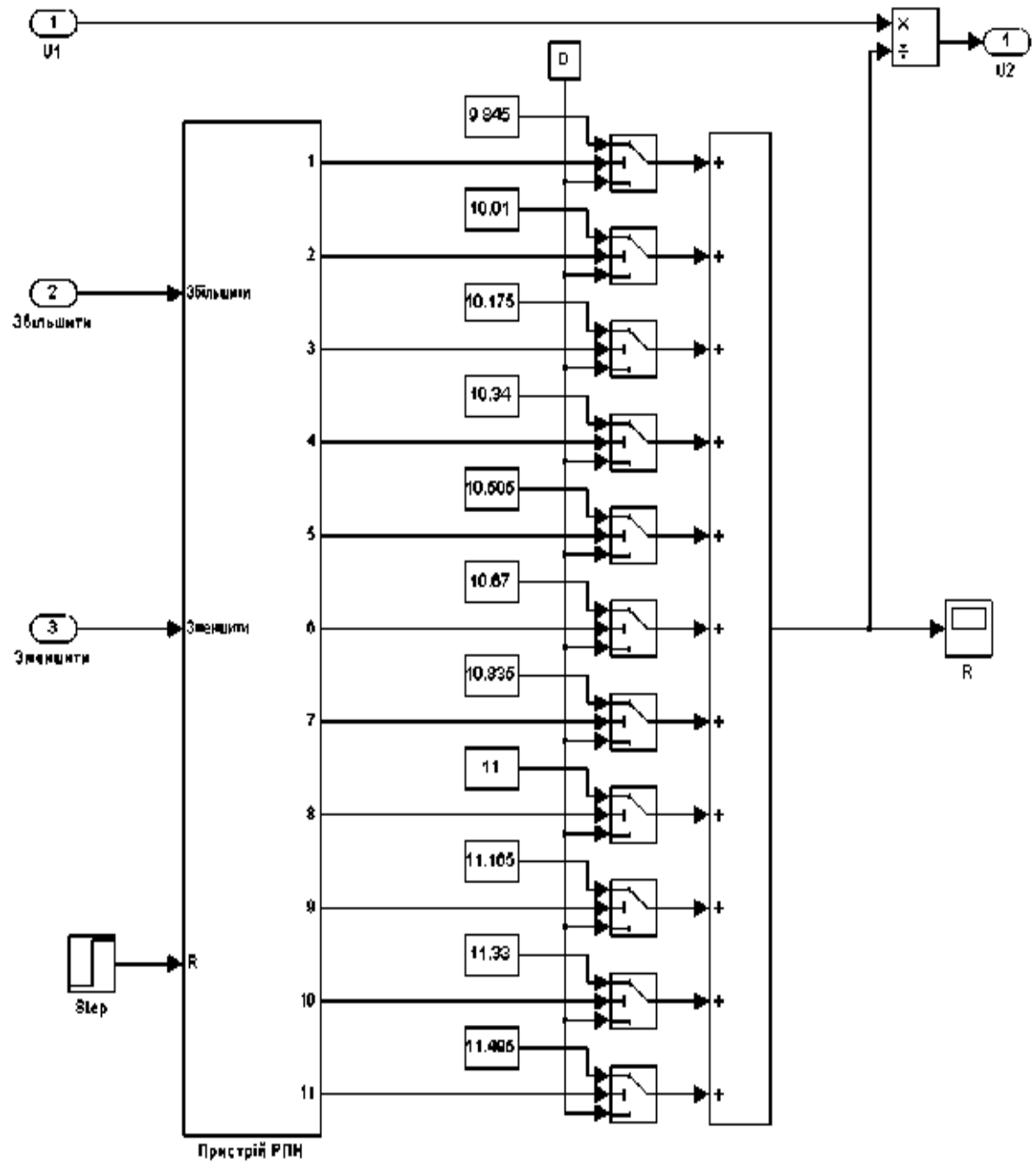


Рисунок 2.6 - Модель трансформатора районної підстанції з пристроєм РПН

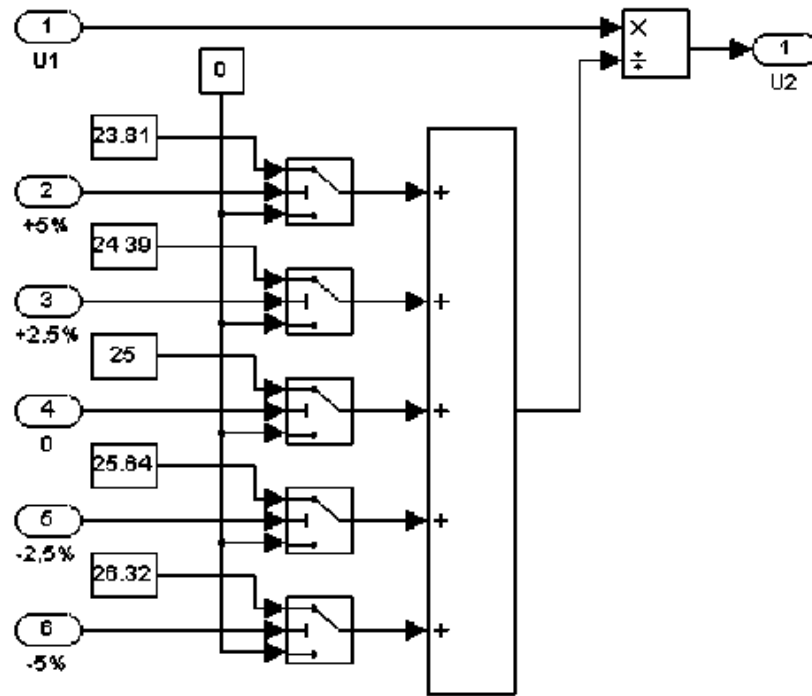


Рисунок 2.8 - Модель трансформатора нижнього рівня

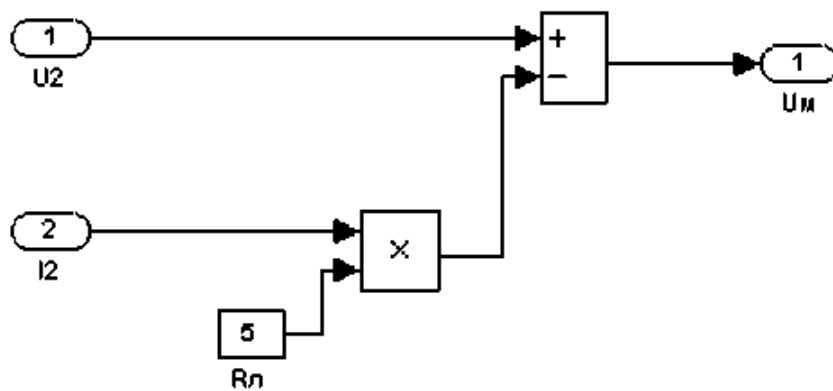


Рисунок 2.9 - Модель лінії електропередачі між районною підстанцією і підстанцією нижнього рівня

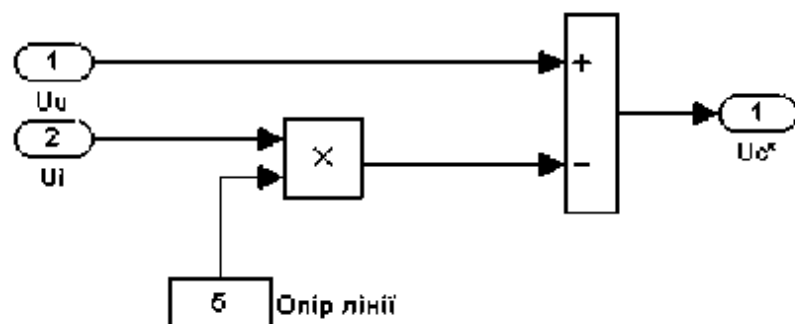


Рисунок 2.10 - Модель блока струмової компенсації

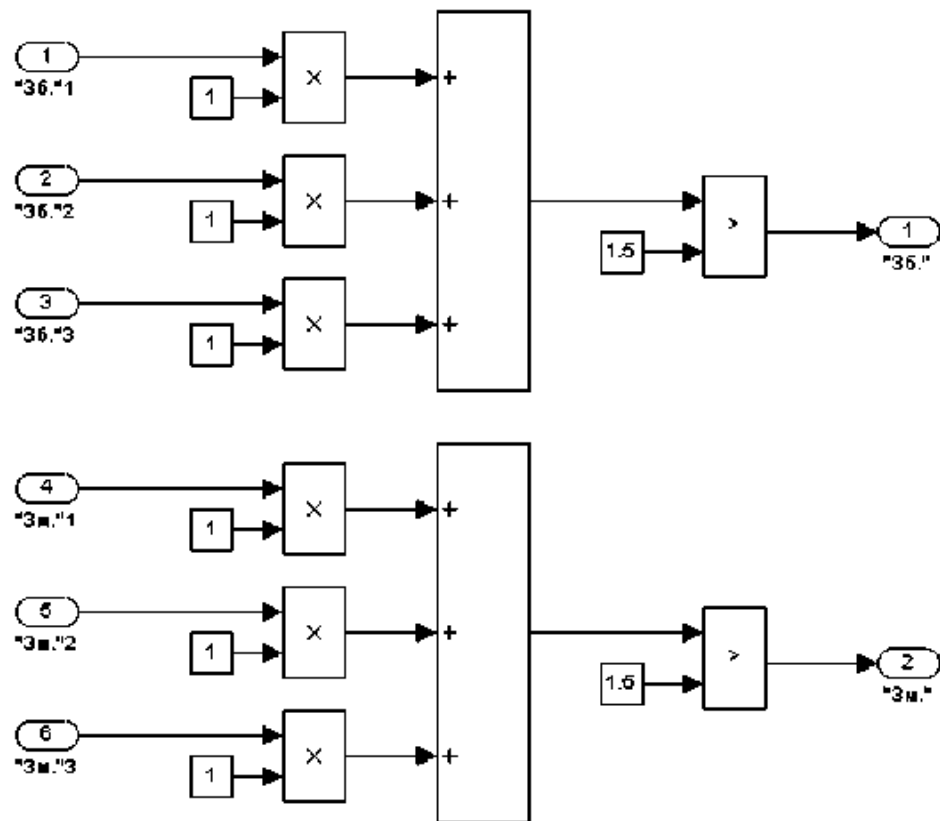


Рисунок 2.11 - Модель блока прийняття рішення

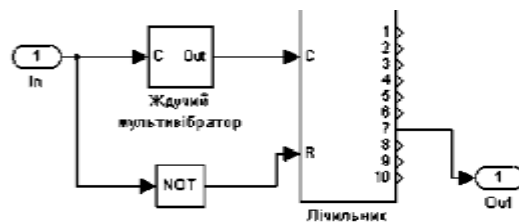


Рисунок 2.12 - Модель блока затримки сигналу

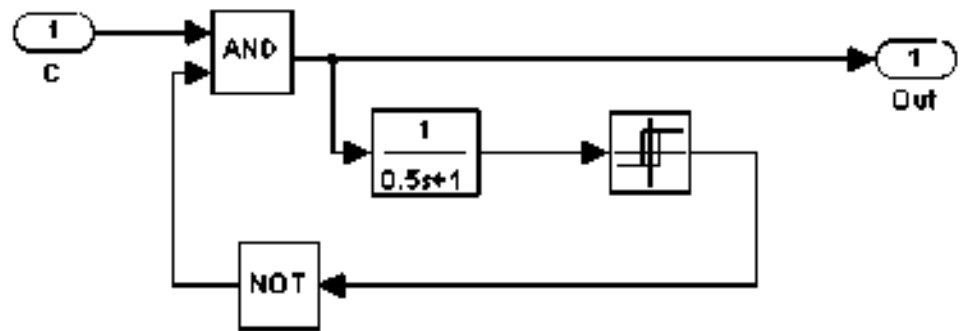


Рисунок 2.13 - Модель ждучого мультивібратора

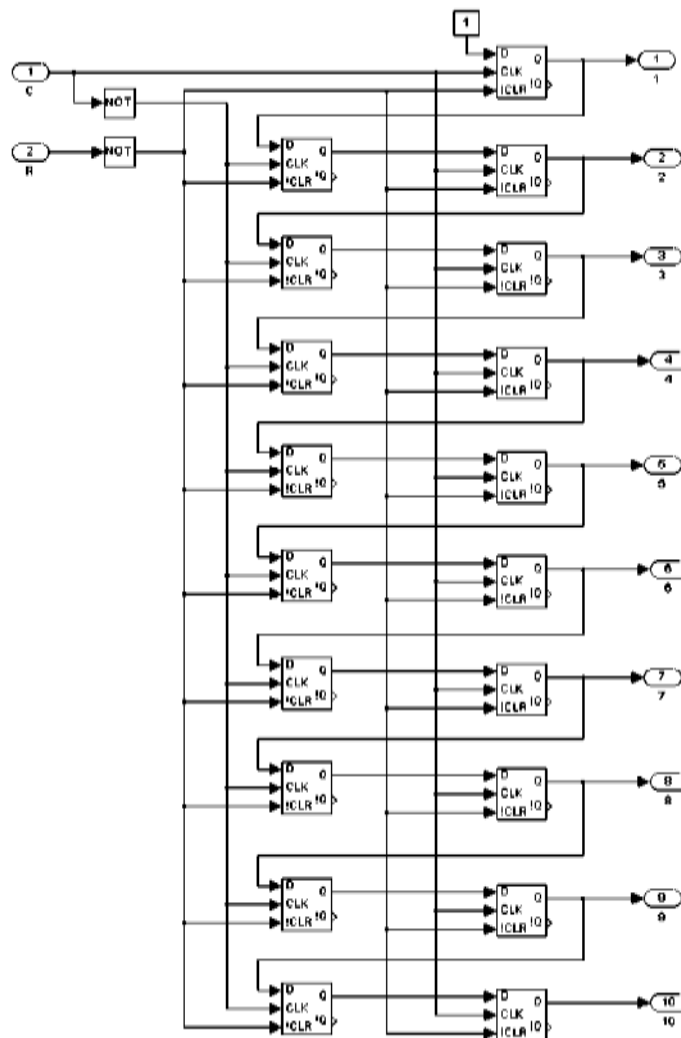


Рисунок 2.14 - Модель лічильника в послідовному коді.

Результати моделювання у вигляді графіків приведені на рисунку 2.9., де U_m - напруга на вхідних шинах районної підстанції; U_1, U_2, U_3 - напруга на споживачах відповідно першої, другої та третьої підстанцій нижнього рівня; I_1, I_2, I_3 - струм навантаження споживачів відповідно першої, другої та третьої підстанцій нижнього рівня; K_1, K_2, K_3, K_r - коефіцієнти трансформації трансформаторів відповідно першої, другої, третьої підстанцій нижнього рівня та районної підстанції. Із графіків видно, що регулятори нижнього рівня при зміні навантаження споживачів підтримують рівень напруги в заданих межах без перемикання пристрою РПН районної підстанції. Цей режим підтримується навіть тоді, коли напруга на вході районної підстанції значно зменшується. І тільки тоді, коли більше половини регуляторів нижнього рівня (в даному випадку два з трьох) вичерпують свій діапазон регулювання, система проводить одне перемикання пристрою РПН районної підстанції. Таким чином досягається зменшення кількості перемикань механічного пристрою РПН районної підстанції при підтриманні необхідної якості регулювання напруги на споживачах.

В процесі аналізу графіків напруги підстанцій нижнього рівня, отриманих під час моделювання, розраховано математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення значення напруги для кожної підстанції нижнього рівня. Для оцінки ефективності дворівневого регулювання за критерієм середньоквадратичного відхилення напруги проведено моделювання роботи системи за відсутності регулювання напруги на нижньому рівні при тих самих вхідних сигналах і часі моделювання.

Порівнюючи результати моделювання можна зробити висновок, що застосування дворівневого регулювання за запропонованим законом призводить до зменшення кількості перемикань механічного пристрою РПН підстанції верхнього рівня втричі. При цьому середні значення напруг для кожної підстанції знаходяться в допустимих межах, а значення середньоквадратичного відхилення зменшились.

2.3. Оптимізація параметрів регулятора нижнього рівня

Задача оптимального керування в складних багатозв'язних системах автоматичного регулювання може вирішуватись на основі імітаційного моделювання і оптимізації параметрів регуляторів за заданим критерієм якості регулювання. Часто параметричну оптимізацію в таких системах проводять на основі інтегрального критерію модуля помилки регулювання.

Чим менше числове значення цього функціоналу, тим вища якість регулювання. За допомогою цього критерію можна знайти максимально допустимі за умовою якості регулювання межі зони нечутливості регулятора і час затримки гз. Але при малих значеннях цих параметрів система втрачає стійкість, виникають автоколивання, відповідно якість регулювання знижується.

Оскільки структура регулятора напруги нижнього рівня складна і суттєво нелінійна, провести оптимізацію за допомогою класичних методів неможливо. Тому для таких систем проводять параметричну оптимізацію за допомогою програм комп'ютерного моделювання.

Параметричну оптимізацію, як і моделювання, зручно проводити за допомогою програми Simulink з використанням інструменту NCD Toolbox . В процесі оптимізації моделюється робота підстанції нижнього рівня при такому ж характері навантаження, як і в промодельованій дворівневій системі регулювання напруги.

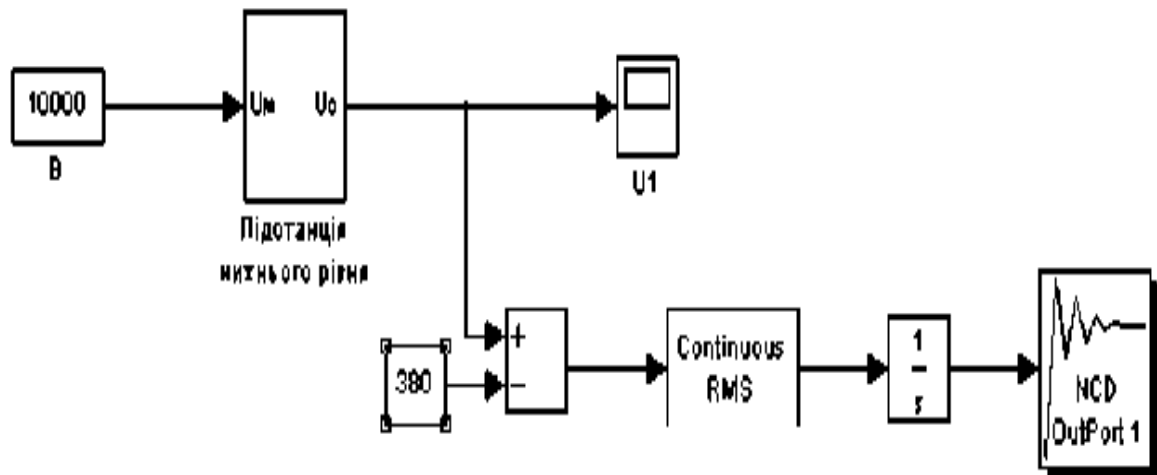


Рисунок 2.15 - Схема моделювання підстанції нижнього рівня для проведення оптимізації

Розглядається два типи перехідного процесу в електричній мережі: коливальний та аперіодичний. Відповідно в першому випадку модель електричної мережі задається коливальною ланкою, а в другому - аперіодичною другого порядку.

Ці значення однакові для обох типів перехідного процесу в електричній мережі. При інших характерах зміни навантаження підстанції оптимальні значення параметрів регулятора будуть відрізнятись від отриманих, але їх легко знайти, використовуючи описаний підхід.

3 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

3.1. Мікропроцесорна реалізація регулятора напруги нижнього рівня

Використання мікропроцесорної техніки в технологічних процесах зростає з кожним роком. Тепер головною частиною майже кожної системи автоматичного регулювання є обчислювальна машина: або мікроконтролер, або промисловий комп'ютер, або ПЕОМ. Такі системи крім основної задачі – процесу регулювання – виконують широкий ряд сервісних функцій: збирання, зберігання і оброблення інформації про об'єкт регулювання, передавання цієї інформації до інших рівнів системи керування (наприклад, на диспетчерський пульт) та інші. До того ж з'являється можливість побудови ієрархічних систем регулювання, об'єднаних в мережу. В деяких системах для ефективного керування трансформатором використовують контроль положення перемикаючого пристрою. Це дає можливість контролювати відпрацювання команд перемикання і вчасно діагностувати вихід з ладу механізму пристрою РПН.

Слід зазначити, що при застосуванні сучасної елементної бази вартість розробки і собівартість мікропроцесорного пристрою значно нижче, ніж однакового за функціями аналогового, але ефективність системи значно вища.

Для роз'язання задач такого класу зручно використовувати однокристальні мікро-ЕОМ, які в одному корпусі поєднують процесор, пам'ять (оперативну та постійну), порти вводу-виводу, контролер зовнішніх переривань, програмовані таймери і, іноді, багатоканальні АЦП. Одними з найбільш широко застосовуваними в теперішній час є однокристальні мікроконтролери сімейства 80C51 фірми Intel та сімейства AVR фірми Atmel.

Для даної реалізації обрано мікроконтролер AT90S8535 фірми Atmel з 8кБ Flash-пам'яті програм, 512 Б оперативної пам'яті, 8-канальним 10-розрядним АЦП. Даний мікроконтролер має RISC-архітектуру і працює на

тактових частотах до 8 МГц.

На рисунку 3.1 наведена функціональна схема регулятора напруги, побудованого на базі мікроконтролера AT90S8535.

Робота регулятора полягає в контролі значень напруги та струму в електричній мережі, які поступають в мікроконтролер 5 через датчики напруги 1, датчики струму 2 та нормуючі перетворювачі 3. Для запобігання коротких замикань перемикання тиристорів необхідно виконувати при переході струму в відповідній фазі через нуль, коли попередній ключ вимикається. Для визначення цього моменту призначені компаратори 4.

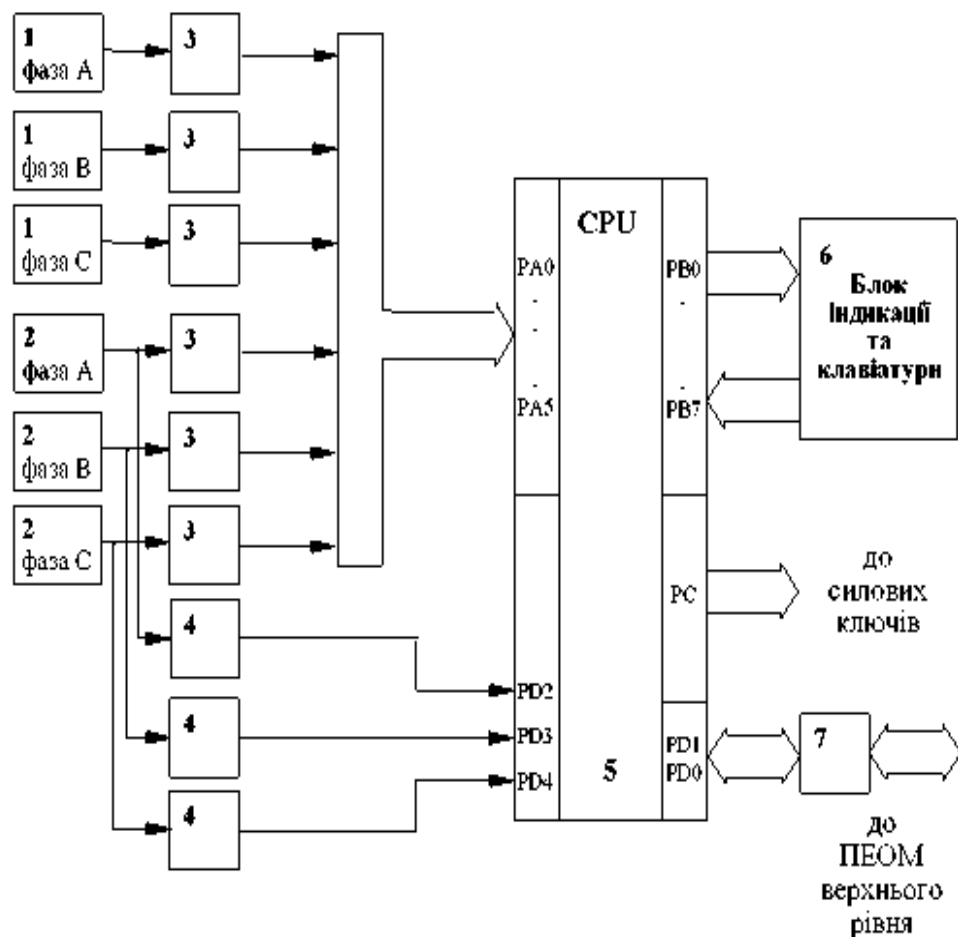


Рисунок 3.1 - Функціональна схема мікропроцесорного регулятора напруги нижнього рівня

Сигнали вмикання силових ключів формуються на виходах порта С контролера і надходять до силових ключів.

Значення уставки напруги та коефіцієнти закону керування зберігаються у flash-пам'яті контролера. Для керування роботою регулятора

використовується блок індикації та клавіатури 6. Зв'язок з ПЕОМ верхнього рівня реалізується через послідовний інтерфейс за допомогою блока 7.

Алгоритм роботи мікропроцесорного регулятора напруги нижнього рівня приведено на рисунку 3.2.

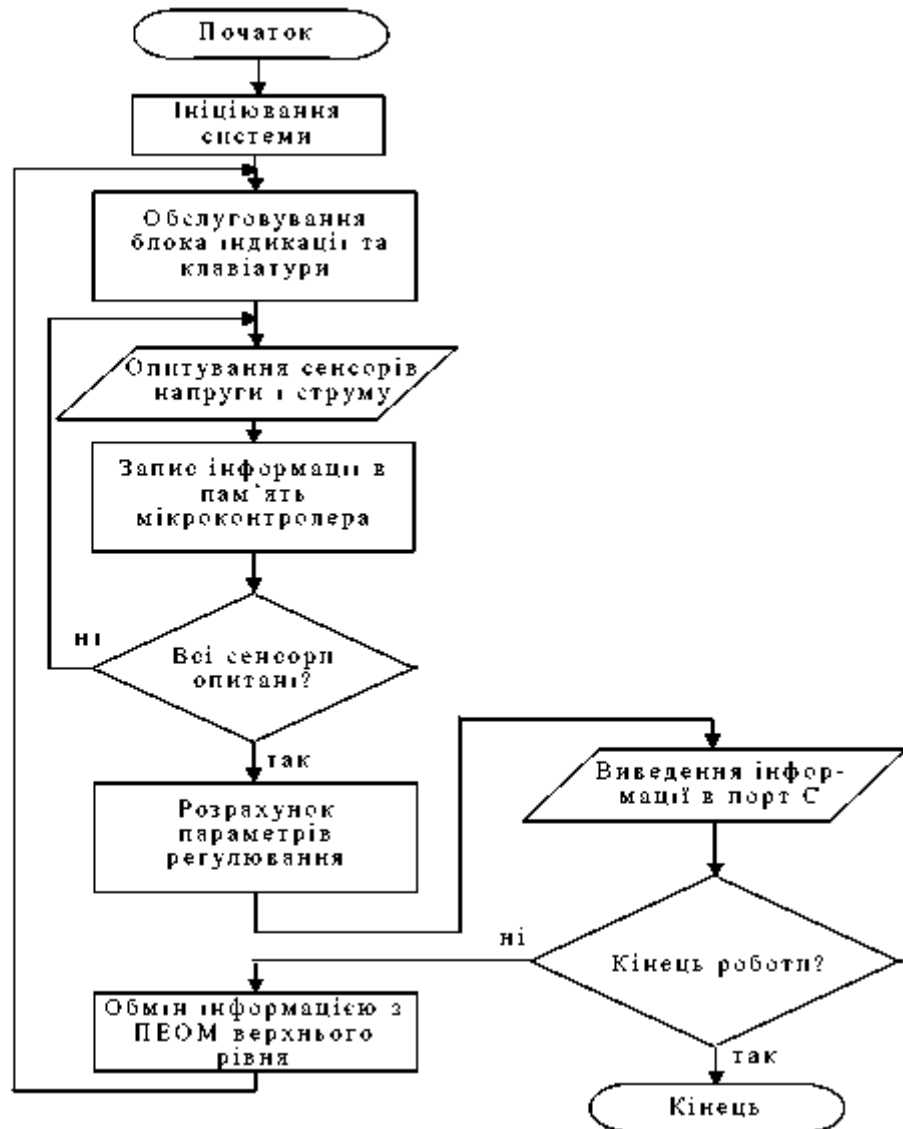


Рисунок 3.2 - Алгоритм роботи мікропроцесорного регулятора напруги нижнього рівня

3.2. Мікропроцесорна реалізація блока прийняття рішення з оптимізацією порогового коефіцієнта

Оптимізацію порогового коефіцієнта БПР за розробленим в розділі 4 методом можна проводити безпосередньо в процесі регулювання напруги. Тоді регулювання буде здійснюватись за мінімумом грошових втрат. Функцію оптимізації можна реалізовувати в БПР, виконаного на базі

мікроконтролера. Функціональна схема такого блока приведена на рисунку 3.3.

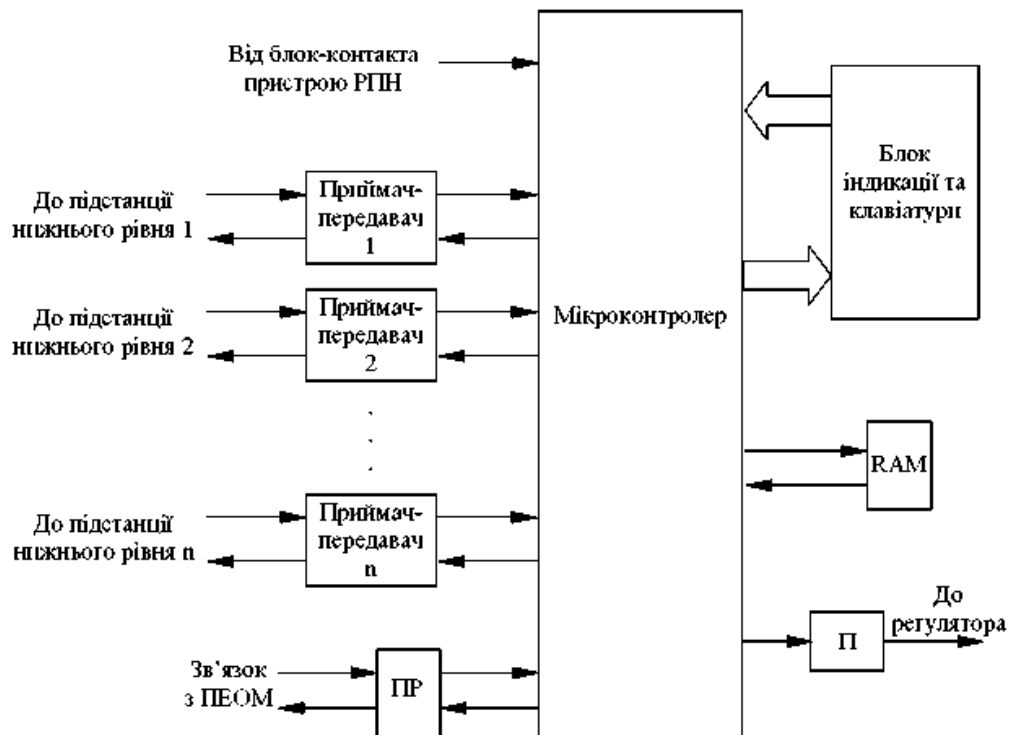


Рисунок 3.3- Функціональна схема мікропроцесорного БПР.

Від кожної підстанції нижнього рівня по каналах зв'язку БПР приймає запити на перемикання і інформацію про значення напруги на споживачах. Виходячи з цієї інформації, відповідно до другої частини функціонала визначаються грошові втрати від неякісного електропостачання. Сигнал від блок-контакту пристрою РПН дає змогу підраховувати кількість перемикань за певний інтервал часу. В залежності від значення встановленої зони нечутливості і часу затримки гз регулятора АРКТ-1 з сімейства характеристик обирається відповідна залежність можливих витрат на ремонт РПН від порогового коефіцієнта, і за нею в залежності від поточного значення порогового коефіцієнта визначаються грошові втрати, обумовлені надійністю пристрою РПН. Ці втрати додаються до втрат від неякісного електропостачання для отримання значення сумарних збитків. Далі пороговий коефіцієнт збільшується на деяке значення і починається наступний цикл збирання даних і підрахунку збитків. Якщо ці збитки

збільшилися, то значення порогового коефіцієнта повертають до попереднього і далі зменшують на деяке значення. Якщо після цього сумарні збитки зменшилися, то пороговий коефіцієнт ще зменшують, і так далі, поки значення втрат не почне зростати.

Таким чином, проводиться ітераційний процес оптимізації порогового коефіцієнта БПР за критерієм мінімізації сумарних збитків від неякісного електропостачання і можливих збитків від виходу трансформатора з ладу.

Вагові коефіцієнти підстанцій нижнього рівня, значення зони нечутливості та часу затримки гз вводяться з клавіатури або з ПЕОМ через послідовний інтерфейс. Необхідні залежності грошових втрат від порогового коефіцієнта зберігаються у вигляді масиву у flash-пам'яті RAM з послідовним доступом.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розробляються заходи з охорони праці в процесі обслуговування електричної підстанції. Отже, на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює експлуатацію обладнання підстанції, впливають такі шкідливі виробничі фактори [1, 2]: фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Роботи в діючих електроустановках слід проводити за нарядом, розпорядженням та в порядку поточної експлуатації. Роботи, які виконують в порядку поточної експлуатації працівники на закріплених за ними електроустановках, проводять без оформлення наряду або розпорядження. Перелік робіт, які виконують у порядку поточної експлуатації, затверджує керівництво підприємства. За нарядами слід виконувати всі роботи, які не ввійшли до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації та за розпорядженням.

Забороняється самовільне проведення робіт, а також розширення

робочих місць та обсягу завдання, визначених нарядом або розпорядженням.

Виконання робіт в електроустановках в зоні дії іншого наряду слід узгоджувати з працівником, який видав попередній наряд. Узгодження оформлюється до підготовки робочого місця записом на полях наряду (біля таблиці 2) "Узгоджено" та за підписом працівника, який узгоджує.

Ремонт електроустановок із застосуванням вантажопідіймальних машин, механізмів або великогабаритних пристроїв, за винятком ямобурів і телескопічних пристроїв для піднімання людей, слід виконувати за технологічними картами або ППР.

В електроустановках до 1000 В електростанцій, підстанцій і на КЛ під час виконання роботи під напругою необхідно:

- відгородити розташовані поблизу робочого місця струмопровідні частини, що перебувають під напругою, до яких можливий випадковий дотик;

- працювати в діелектричних калошах, ботах або стоячи на ізолювальній підставці чи на гумовому діелектричному килимку;

- застосовувати інструмент з ізолювальними рукоятками (у викруток повинен бути ізольований стрижень). У разі відсутності такого інструменту слід користуватись діелектричними рукавичками.

Забороняється працювати в одязі з короткими або закоченими рукавами, користуватись ножівками, металевими метрами тощо.

В електроустановках понад 1000 В під час проведення робіт на струмопровідних частинах, що перебувають під напругою, за допомогою захисних ізолювальних засобів необхідно:

- користуватись тільки випробуваними сухими та чистими ізолювальними засобами з непошкодженим лаковим покриттям;

- тримати ізолювальні засоби за ручки-захвати не далі обмежувального кільця;

- розмістити ізолювальні засоби так, щоб не виникла небезпека перекриття між фазами або фази на землю.

Під час виконання роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолювальні штанги, електровимірювальні штанги та кліщі, показчики напруги) допускається наближатись людині до струмопровідних частин на відстань, визначену довжиною їхньої ізолювальної частини.

Забороняється в електроустановках працювати в зігнутому положенні, якщо у разі випрямлення відстань до струмопровідних частин буде менша за зазначену в інструкціях з ОП. Забороняється в електроустановках електростанцій та підстанцій 6-110 кВ під час роботи біля неогороджених струмопровідних частин розміщуватись так, щоб вони були позаду або з обох боків.

На ПЛ, за винятком зовнішніх вводів 0,4 кВ до будівель, та ПЛЗ перед розриванням або з'єднанням електрично сполучених складників (проводів, тросів) необхідно встановлювати заземлення з обох боків розриву (передбачуваного розриву).

В темний період доби ділянки робіт, робочі місця, проїзди і підходи до них слід освітлювати. Забороняється працювати в неосвітлених місцях.

У випадку наближення грози слід припинити всі роботи на ПЛ, ПЛЗ; у ВРУ, ЗРУ на виводах та лінійних роз'єднувачах ПЛ; на КЛ, під'єднаних до діляниць ПЛ, а також на вводах ПЛЗ в приміщеннях вузлів зв'язку та на антенно-щоглових спорудах.

Всі працівники, які перебувають в діючих електроустановках (за винятком щитів керування, приміщень з релейними панелями та їм подібних), в колодязях, тунелях, траншеях, повинні користуватись захисними касками.

Працівникам підприємств, інших організацій, направлених у відрядження, одноособово можна записувати покази лічильників та інших вимірювальних приладів, встановлених на щитах керування і в РУ. У разі наявності місцевих оперативних працівників відряджені працівники повинні мати групу II, а у разі відсутності місцевих оперативних працівників - групу III. Працівники, які обслуговують компресорні установки та повітрозбірники,

електролізні установки, акумуляторні батареї та зарядні пристрої, повинні мати групу III.

Електробезпека

Основні технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) виконання технічних заходів під час підготовки робочого місця,
2) застосування під час обслуговування електроустановок електрозахисних засобів.

1) Під час підготовки робочого місця для роботи, яка вимагає знімання напруги, слід виконати у зазначеній послідовності такі технічні заходи:

- провести необхідні вимкнення і вжити заходів щодо запобігання помилковому або самочинному вмиканню комутаційної апаратури;

- вивісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. За необхідності струмопровідні частини слід огороджувати;

- приєднати до "землі" переносні заземлення;

- перевірити відсутність напруги на струмопровідних частинах, на які слід встановити заземлення. Якщо переносні заземлення планується ставити поблизу струмопровідних частин, що не входять в зону робочого місця, то їх огороження слід встановити до перевірки відсутності напруги та заземлення;

- встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, приєднати до вимкнених струмопровідних частин переносні заземлення) безпосередньо після перевірки відсутності напруги та вивісити плакати "Заземлено" на приводах вимикальних комутаційних апаратів;

- огородити, у разі необхідності, робочі місця або струмопровідні частини, що залишились під напругою, і вивісити на огороженнях плакати безпеки. Залежно від місцевих умов струмопровідні частини огорожують до або після їх заземлення.

2) Під час обслуговування електроустановок повинні застосовуватись засоби захисту від ураження електричним струмом, від впливу електричного

поля, а також засоби індивідуального та колективного захисту. Ізолювальні електрозахисні засоби поділяються на основні і додаткові. До основних ізолювальних електрозахисних засобів, які повинні застосовуватись в електроустановках напругою понад 1000 В, відносяться: ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, показчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.); до додаткових – діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення та вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати та знаки безпеки та інші засоби захисту.

Крім наведених вище засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ: захисні каски – для захисту голови; захисні окуляри і щитки – для захисту очей і обличчя; протигази і респіратори – для захисту органів дихання; рукавиці – для захисту рук; запобіжні пояси та страхувальні канати.

Вибір необхідних електрозахисних засобів, засобів захисту від дії ЕП, а також ЗІЗ регламентується [3], а також іншими відповідними нормативними документами (НД) з урахуванням місцевих умов. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб, крім випадків, що обумовлені в цих Правилах. У разі необхідності захисту працівника від напруги кроку дозволяється використовувати діелектричне взуття без застосування основних засобів захисту.

За безпечність конструкції, правильність вибору матеріалів, якість виготовлення, а також за відповідність засобів захисту чинним в Україні нормативним документам повинні нести відповідальність керівники підприємств, установ, організацій (незалежно від форми власності), що

виготовляють ці засоби захисту, орган, який видав сертифікат на виробництво та на реалізацію захисних засобів, в тому числі і засобів захисту зарубіжного виробництва.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Мікроклімат

Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Параметри мікроклімату в виробничому приміщенні, де встановлена лінія, наведено в таблиці 4.1.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці технологічного персоналу передбачається:

- в холодну пору року використання калорифера;
- в літню пору застосування вентиляторів обдува;
- провітрювання приміщення.

Таблиця 4.1 – Нормування параметрів мікроклімату на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Пб	15-29	70 при 25°C	0,2-0,5
Холодний	Пб	13-23	не більш 75	не більш 0,4

Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Клас небезпечності
----------------	------------------------	--------------------

	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0.5	0.15	4
Вуглець (II) оксиду	20		4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачено:

- провітрювання приміщення;
- цілісність вікон для перешкоджання попадання пилу в приміщення під час роботи лінії;
- встановлення пиловловлюючих засобів.

Виробниче освітлення

Характеристика зорових робіт під час експлуатації електрообладнання – малої точності. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «г».

Таблиця 4.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Х-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Х-ка фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Малої точності	Від 1,0 до 5 включно	V	г	середній великий великий	світлий світлий середній	-	200	3	1,8

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Виробничий шум

Для відносної логарифмічної шкали в якості нульових рівнів обрані показники, що характеризують мінімальний поріг сприйняття звуку

людським вухом на частоті 1000 Гц. Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки» (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Проектом передбачені засоби колективного захисту: акустичні, архітектурно-планувальні й організаційно-технічні.

Засоби боротьби із шумом в залежності від числа осіб, для яких вони призначені, поділяються на засоби індивідуального захисту і на засоби колективного захисту - «ССБТ. Засоби індивідуального захисту органів слуху. Загальні технічні умови і методи випробувань» і «Засоби і методи захисту від шуму. Класифікація».

Для зниження шуму в приміщенні, необхідно:

- безпосередньо біля джерел шуму використовувати звукопоглинаючі матеріали для покриття стелі, стін, застосовувати підвісні звукопоглиначі;
- для боротьби з вентиляційним шумом потрібно застосовувати мало шумові вентилятори.

4.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги». Типові правила пожежної безпеки для промислових підприємств і інструкції на окремих об'єктах.

Приміщення підстанції за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою

відноситься до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться (зберігаються, переробляються, транспортуються) зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В, з зонами П-ІІІ (місця, де зберігаються тверді горючі речовини). Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується ІІІ ступенем вогнестійкості.

До ІІІ ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
ІІІ	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [15] наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 4.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 3.7 (знаменник).

Таблиця 4.7 - Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків, сільськогосподарських будівель і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IIIa, IIIб, IV, IVa, V
III	8/9	8/12	10/15

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі.

В приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 – 100 м².

На території підстанції встановлено 12 вогнегасників ВП-5 [16].

5 РОЗРАХУНОК ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА

5.1. Розрахунок обмоток низької напруги. Розрахунок циліндричної обмотки

Дійсна індукція в стержні, Тл

$$B_c = \frac{u_c}{4,44 \cdot f \cdot \Pi_c} = \frac{58,76}{24,48} = 2,4$$

Число витків у одному шарі:

$$W_{up1} = W_1 / 3 = 187 / 3 = 63$$

Орієнтовний осьовий розмір витка, м

$$h_{e1} \approx \frac{l_1}{W_{up1} + 1} = \frac{0,56}{63 + 1} = 0,00875$$

За перерізом витка по таблиці обираємо вісім паралельних проводів АПБ перетином 69,1 мм².

ПБ $1 \times \frac{1,6 \times 9,5}{2,1 \times 10}$, ізоляція 4,5 мм на дві сторони.

Перетин витка $\Pi_1 = 8 \cdot 15,09 \cdot 10^{-6} = 120,72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$

$$J_1 = \frac{48,49}{4,34} = 11,2 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$$

Осьовий розмір витка, мм

$$h_{e1} = n_{e1} \cdot b' = 8 \cdot 10 = 80,$$

осьовий розмір обмотки, м

$$l_1 \approx h_{\epsilon 1} \cdot (W_{up1} + 1) + 0.01 = 0,08 \cdot 64 + 0.01 = 5,13$$

Радіальний розмір обмотки, м

$$a_1 = \frac{n_{\epsilon 1}}{2} \cdot a' \cdot 10^{-3} = \frac{8}{2} \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} = 0,0084$$

Внутрішній діаметр обмотки, м

$$D'_1 = d + 2a_{01} \cdot 10^{-3} = 0,402 + 0,035 = 0,437;$$

Зовнішній діаметр обмотки, м

$$D''_1 = D'_1 + 2a_1 = 0,437 + 0,874 = 1,311$$

Повна поверхня охолодження обмотки НН для всього трансформатора,
м²

$$\Pi_{o1} = 3 \cdot c \cdot k_3 \cdot \pi \cdot (D'_1 + D''_1) \cdot l_1 = 3 \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 3,14 \cdot 1,748 \cdot 5,13 = 19$$

де $k_3 = 0,75$ - враховує закриті частини поверхні обмотки рейками та іншими ізоляційними деталями.

Середній коефіцієнт додаткових втрат

$$k_D = 1 + 1,73 \cdot \beta^2 \left(\frac{f}{\rho}\right)^2 \cdot a^4 \cdot (n^2 - 0,2) = 0,9$$

Знаходимо щільність теплового потоку Вт/м²

$$q_1 = \frac{107}{k_3} \cdot k_D \cdot b \cdot \frac{a}{a'} \cdot \Delta^2 = 449,81$$

Маса металу обмотки

$$G_{01} = 8,47 \cdot 10^3 \cdot c \cdot \frac{D'_1 + D''_1}{2} \cdot w_1 \cdot \Pi_1$$

$$G_{01} = 8,47 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot \frac{0,437 + 1,311}{2} \cdot 187 \cdot 120,72 = 501,34 \text{ кг.}$$

5.2 Розрахунок обмоток ВН. Неперервна катушечна обмотка

В трансформаторах із регулюванням напруги на боці ВН шляхом перемикання відгалужень без збудження (ПБЗ) повинна передбачатися зміна числа витків ОВН на $\pm 6 \times 1,5 = \pm 9\%$ від номінального значення.

Обираємо схему регулювання з виводом кінців усіх трьох фаз обмотки до одного трьохфазного перемикача. Найбільша напруга між контактами перемикача в одній фазі:

$$\text{Робоча} \quad \frac{0,1 \cdot U_2}{\sqrt{3}} = 2023 \quad \text{В;}$$

$$\text{Випробувальна} \quad \frac{2 \cdot 0,1 \cdot U_2}{\sqrt{3}} = 4046 \quad \text{В.}$$

Напруга, В	Відгалудження обмотки		
36750	A2A3	B2B3	C2C3
25875	A3A4	B3B4	C3C4
35000	A4A5	B4B5	C4C5
34125	A5A6	B5B6	C5C6
33250	A6A7	B6B7	C6C7

Розрахунок неперервної катушечної обмотки ВН, ширини каналів в обмотці ВН, виконаної в одному концентраті, розпочинають з визначення кількості витків при номінальній напрузі:

$$W_{n2}' = W_1 \frac{U_{\phi 2}}{U_{\phi 1}} = \frac{20231}{11000} \cdot 187 = 344$$

Кількість витків на одній ступені регулювання

$$w = \frac{\Delta U}{\sqrt{3} \cdot u_{\phi}} = \frac{85000 \cdot 0,025}{101,7} = 20,89 \approx 21$$

Напруга, В	Кількість витків на розгалудженнях
36750	$370 + 2 \cdot 28 = 426$
35875	$370 + 28 = 398$
35000	370
34125	$370 - 28 = 342$
33250	$370 - 2 \cdot 28 = 314$

Орієнтовна щільність струму

$$J_2' = 2 \cdot J_{\phi} - J_1 = 2 \cdot 3,54 - 3,51 = 3,57 \text{ А/мм}^2$$

Орієнтовний переріз витка:

$$\Pi_2' = I_{\phi 2} / J_2 = 26,4 / 3,57 = 7,4$$

За перерізом витка по таблиці обираємо чотири паралельних проводи АПБ перетином 63,1 мм².

АПБ $1 \times \frac{1,35 \times 5,5}{1,85 \times 6,0}$, ізоляція 0,62 мм на дві сторони.

Повний переріз витка 252,4 мм².

$$J_2 = 26,4 / 7,22 = 3,66 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$$

г) перевірка розміру проводу a по величині $k_{доо}$: для двохшарової алюмінієвої обмотки з $a = 4.0 \text{ мм}$ додаткові втрати складають до 5%.

$$\text{д) } a_2 = 19.$$

Число катушок на одному стержні :

$$n_{\text{кат}2} = \frac{l_1}{b' + h_k} = \frac{1810}{16,62 + 6} = 80$$

Кількість витків у котушці орієнтовно

$$\varpi_2 = \frac{W_2}{n_{\text{кат}2}} = 249 / 80 = 3.1$$

Для обмотки з каналами між всіма катушками, м

$$l_2 = \{b' \cdot n_{\text{кат}2} + k[h'_k(n_{\text{кат}2} - 2) + h'_{кр}]\} \cdot 10^{-3} = \{1329.6 + 0.95 \cdot [6 \cdot (80 - 2) + 12]\} = 1.785$$

Висота каналу в місці розриву обмотки й розміщення регулювальних витків $h'_{кр}$ вибирається за умовами забезпечення електричної міцності ізоляції. Коефіцієнт k , враховуючий осадження ізоляції після сушіння і опресовки обмотки, $k = 0,94 \div 0,96$.

Радіальний розмір обмотки

$$a_2 = a' \cdot n_{\text{к}2} \cdot \varpi_{\text{кот}2} + a_{22} = 4.62 \cdot 4 \cdot 3 + 1.7 = 57.1$$

де $\varpi_{\text{кот}2}$ - число витків катушки, округлене до найближчого цілого числа;

a' - радіальний розмір проводу, мм;

$n_{\text{к}2}$ - кількість паралельних проводів у поперечному перерізі.

Внутрішній діаметр обмотки, м:

$$D'_2 = D'_1 + 2 \cdot a_{12} = 0.768 + 0.06 = 0.828,$$

Зовнішній діаметр обмотки, м:

$$D''_2 = D'_2 + 2 \cdot a_2 = 0.828 + 0.114 = 0.942$$

Поверхня охолодження, м²:

$$\Pi_{o2} = 2 \cdot c \cdot k_3 \cdot \pi \cdot (D'_2 + D''_2) \cdot l_2 = 2 \cdot 3 \cdot 0.75 \cdot 3.14 \cdot 1.77 \cdot 1.785 = 44.64$$

Середній коефіцієнт додаткових втрат

$$k_D = 1 + 1.73 \cdot \beta^2 \left(\frac{f}{\rho} \right)^2 \cdot a^4 \cdot (n^2 - 0.2) = 1 + 0.42 = 1.017$$

Знаходимо щільність теплового потоку Вт/м²

$$q = \frac{172 \cdot J \cdot I \cdot w_K \cdot k_D}{k_3 \cdot (b' + a)} \cdot 10^{-10} = \frac{7493744}{0.0553} \cdot 10^{-4} = 1355$$

Маса металу обмотки

$$G_{02} = 8.47 \cdot 10^3 \cdot c \cdot D_{CP} \cdot w_2 \cdot \Pi_2 = 8.47 \cdot 10^3 \cdot c \cdot \frac{D'_2 + D''_2}{2} \cdot w_2 \cdot \Pi_2,$$

$$G_{02} = 8.47 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot \frac{0.828 + 0.942}{2} \cdot 248 \cdot 252.4 = 1252260 \text{ кг}$$

$U_{\text{випр}}$ для ВН, кВ85

Відстань між обмотками сусідніх стержнів a_{22} , мм30

Канал між обмотками ВН й НН a_{12} , мм30

Товщина циліндра δ_{12} , мм6

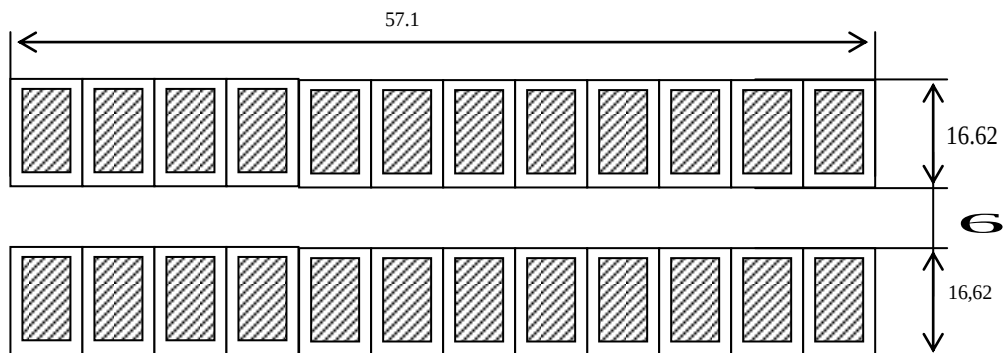
Виступ циліндра за висоту обмотки l_{y2} , мм50

Відстань обмотки ВН до пресуючого кільця, мм

верхній l_{02} 120

нижній l_{02} 80

Товщина міжфазної перегородки δ_{22} , мм3



Переріз витка обмотки ВН із алюмінієвого проводу.

Висновки

Даній бакалаврській кваліфікаційній роботі було детально проаналізовано технічну реалізацію систем регулювання напруги, а також сучасний стан регулювання напруги в електричних мережах. Особливу увагу було приділено оптимізації параметрів регулятора нижнього рівня, а також мікропроцесорній реалізації як регулятора напруги, так і блока прийняття рішення з оптимізацією порогового коефіцієнта.

В рамках дослідження проведено розрахунки обмоток низької та високої напруги, що є критично важливими для вибору відповідних вимірювальних приладів та реле, які підключаються до трансформаторів. Це підкреслює необхідність розробки нових методів і засобів регулювання якості електричної енергії для забезпечення надійної роботи існуючого обладнання.

Відповідно до теми бакалаврської роботи "Інтелектуальні системи регулювання напруги на базі мікропроцесорної техніки для електричних мереж", було проведено всебічний аналіз, що включає в себе різні види регулювання напруги, дослідження роботи систем регулювання, а також технічну реалізацію цих систем у сучасних електричних мережах.

Література

1. Melnikova O., Nazarychev A., Suslov K. Enhancement of the Technique for Calculation and Assessment of the Condition of Major Insulation of Power Transformers. *Energies*. 2022;15(4):1572. doi:10.3390/en15041572.[mdpi.com](https://doi.org/10.3390/en15041572)
2. Zahra S.T., Imdad S.K., Khan S., Khalid S., Baig N.A. Power Transformer Health Index and Life Span Assessment: A Comprehensive Review of Conventional and Machine Learning based Approaches. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2504.15310.[arxiv.org](https://arxiv.org/abs/2504.15310)
3. Tembo F., Bragone F., Laneryd T., Barreau M., Morozovska K. Data-Driven vs Traditional Approaches to Power Transformer's Top-Oil Temperature Estimation. *arXiv preprint*. 2025. arXiv:2501.16831.[arxiv.org+1arxiv.org+1](https://arxiv.org/abs/2501.16831)
4. Черкашина В.В., Баклицький В.М. Дослідження техніко-економічних показників силових трансформаторів з урахуванням умов експлуатації. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024;(1):32–36.visnyk.vntu.edu.ua
5. Verestovyy D.O. Діагностика ізоляції сухих силових трансформаторів: бакалаврська робота. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського; 2024.ela.kpi.ua
6. Majzoobi A., Mahoor M., Khodaei A. Machine Learning Applications in Estimating Transformer Loss of Life. *arXiv preprint*. 2017. arXiv:1703.01397.[arxiv.org](https://arxiv.org/abs/1703.01397)
7. Zhang Z., Li Y., Chen H., et al. Innovative Transformer Life Assessment Considering Moisture and Oil Circulation. *Energies*. 2024;17(2):429. doi:10.3390/en17020429.[mdpi.com+1arxiv.org+1](https://doi.org/10.3390/en17020429)
8. Mokhnache K., et al. A Review of Reliability Assessment and Lifetime Prediction Methods for Electrical Machine Insulation Under Thermal Aging. *Energies*. 2025;18(3):576. doi:10.3390/en18030576.[mdpi.com](https://doi.org/10.3390/en18030576)
9. Wani N.U.I., Ranga C., Manoj T., Gopi M. Dielectric Behavior of Power Transformers Installed in Kashmir Valley: Case Studies and Challenges. In: *Proceedings of 4th International Conference on Machine Learning, Advances in*

Computing, Renewable Energy and Communication (MARC 2021). Singapore: Springer; 2024. p. 343–350.link.springer.com

10. Ramirez I., Pino J., Pardo D., et al. Residual-based Attention Physics-informed Neural Networks for Spatio-Temporal Ageing Assessment of Transformers Operated in Renewable Power Plants. arXiv preprint. 2024. arXiv:2405.06443.arxiv.org

11. Zhorniak L.B., Afanasyev O.I., Shchus V.M., Bakhmetyev V.V. Дослідження надійності тиристорного модулю пристроїв регулювання напруги під навантаженням силових трансформаторів. In: Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки: тези доповідей 27-го Міжнародного симпозіуму SIEMA-2024; 2024 жовтня 24–25; Харків, Україна. Харків: НТУ «ХПІ»; 2024. p. 42.repository.kpi.kharkov.ua

12. Li J., Wang Y., Zhang H., et al. Thermal-flow Characteristics Analysis of a Novel Resilient Capacity Ceramic Insulated Winding Dry Type Transformer. AIP Advances. 2024;14(4):045042. doi:10.1063/5.0181572.pubs.aip.org.

13. ou Y., Liu X., Wang Q., et al. Thermal Aging Assessment of Transformer Insulation Using Artificial Neural Networks. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2023;30(2):1234–1242.mdpi.com+arxiv.org+1

14. Kim S., Park J., Lee H. Predictive Maintenance of Power Transformers Based on Thermal and Electrical Parameters. Electric Power Systems Research. 2022;198:107003.

15. Singh R., Sharma A., Gupta N. Impact of Environmental Conditions on Transformer Insulation Performance. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2021;129:106778.

16. . ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

17. . ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і

шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

18. . ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.

19. . ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

20. . НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

21. . ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

22. . ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

23. . ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

24. . ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

25. . ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

26. . НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

27. . ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.

28. . ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і

матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

29. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

30. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

31. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Інтелектуальні системи регулювання напруги на базі мікропроцесорної техніки для електричних мереж»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (вказати))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Лесько В. О.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	90,1
Загальна схожість	9,3

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор 
(підпис)

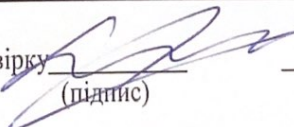
Бабенко Д. О.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Вишневський С.Я

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

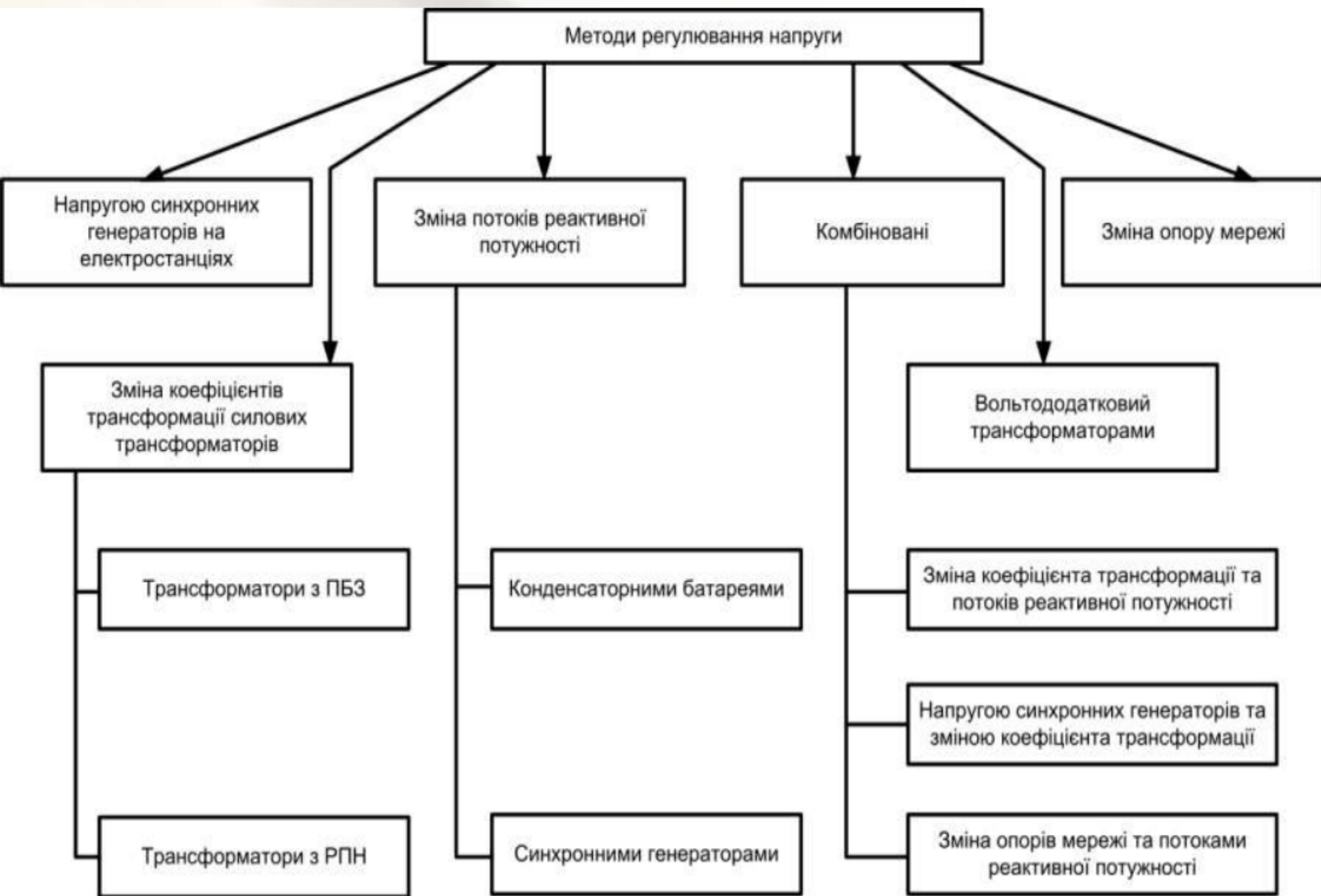
(прізвище, ініціали, посада)

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ НА БАЗІ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

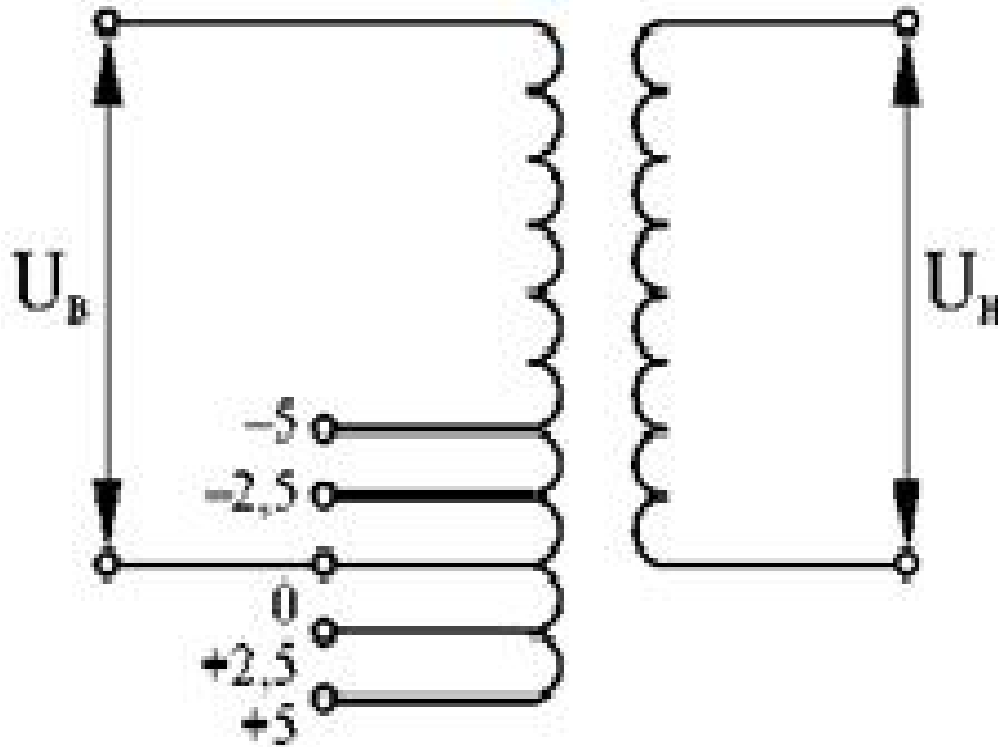
Бабенко Дмитро Олександрович

- **Актуальність теми.** В умовах зростаючого енергоспоживання, широкого впровадження відновлюваних джерел енергії, децентралізації генерації та цифровізації енергетики зростає складність управління параметрами мереж. Зокрема, традиційні методи регулювання напруги, основані переважно на ручному або малоефективному автоматичному управлінні, більше не забезпечують необхідного рівня адаптивності та точності в умовах змінних режимів роботи мережі.
- Одним із перспективних напрямів удосконалення систем електропостачання є впровадження інтелектуальних систем регулювання напруги, побудованих на основі мікропроцесорної техніки. Такі системи дають змогу реалізувати гнучке, адаптивне управління з використанням алгоритмів автоматичного прийняття рішень, що значно підвищує точність, швидкість і надійність процесу стабілізації напруги.
- Актуальність теми даної кваліфікаційної роботи полягає в необхідності розробки та впровадження сучасних технічних засобів і алгоритмів для забезпечення якісного регулювання напруги, що відповідає вимогам надійності, енергоефективності та автоматизації процесів управління електричними мережами.
- **Метою роботи** є аналіз, розробка та мікропроцесорна реалізація інтелектуальної системи регулювання напруги електричних мережах на базі дворівневої структури керування.
- **Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:**
 - провести аналіз існуючих методів та технічних засобів регулювання напруги;
 - дослідити роботу трансформаторів з пристроями регулювання під навантаженням (РПН);
 - розробити структуру дворівневої системи регулювання напруги;
 - оптимізувати параметри регулятора нижнього рівня;
 - реалізувати мікропроцесорну систему керування з адаптивною логікою;
 - здійснити розрахунок обмоток силового трансформатора для вибраної структури регулювання;
 - розглянути питання охорони праці при впровадженні системи.
- **Об'єкт дослідження** – процес регулювання напруги в електричних мережах.
- **Предмет дослідження** – інтелектуальні мікропроцесорні системи автоматичного регулювання напруги.
- **Методи дослідження** – аналіз електричних режимів, моделювання роботи регуляторів напруги, оптимізаційні алгоритми, мікропроцесорне програмування.
- **Практичне значення роботи** полягає в можливості застосування запропонованої мікропроцесорної системи в системах розподілу електроенергії для підвищення стабільності напруги, зниження технічних втрат та забезпечення надійного електропостачання споживачів.

Класифікація методів регулювання напруги в електричних мережах

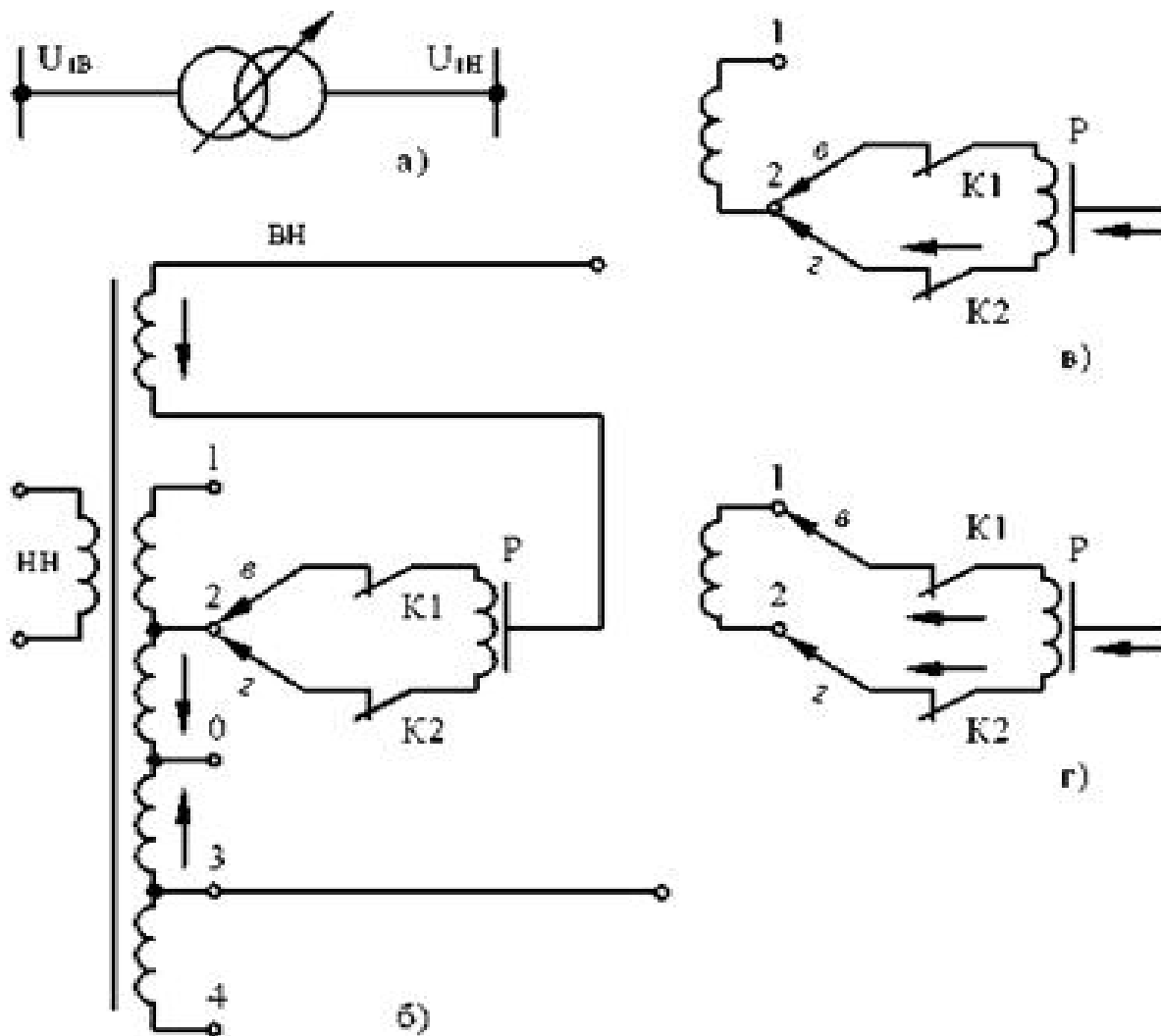


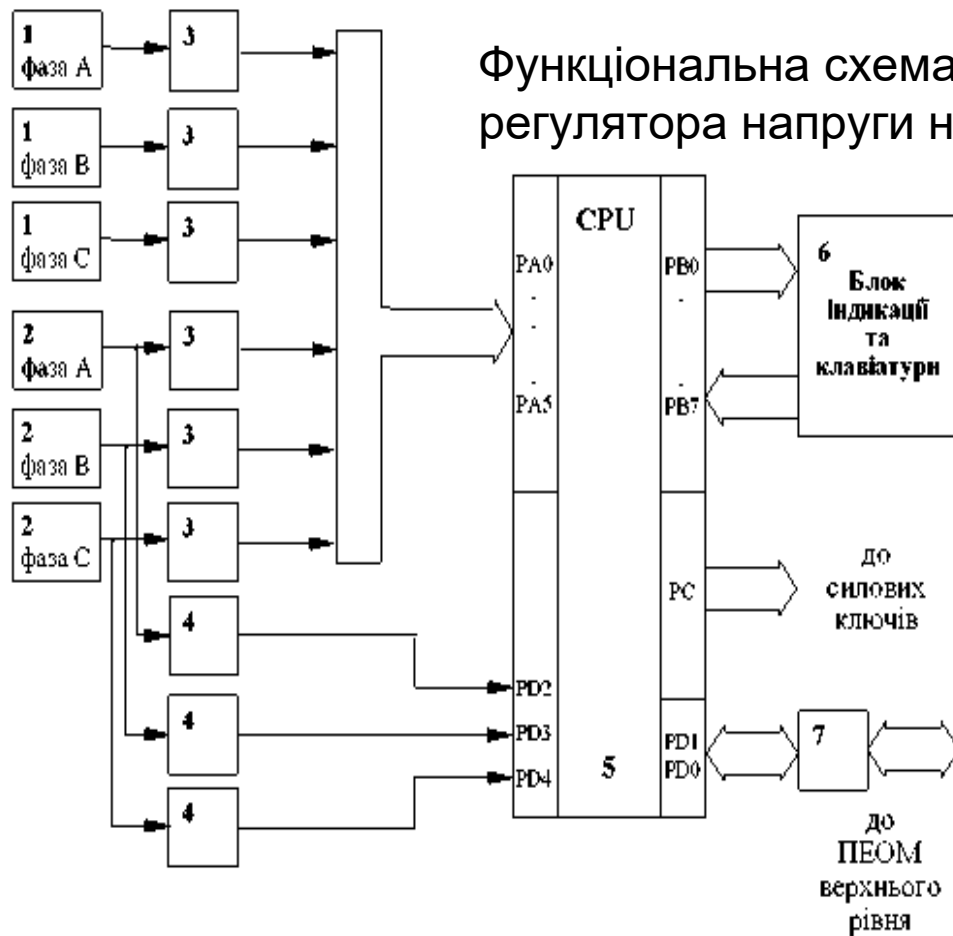
Принципова схема трансформатора з ПБЗ



Основне відгалуження має напругу, рівну номінальній напрузі мережі, до якої приєднується даний трансформатор (6, 10, 20 кВ). При основному відгалуженні коефіцієнт трансформації трансформатора називають номінальним. При використанні чотирьох додаткових відгалужень коефіцієнт трансформації відрізняється від номінального відповідно на +5%, +2,5%, -2,5% і -5%.

Трансформатор з РПН: а – умовне позначення; б – принципо-ва схема; в, г – перемикання відгалужень





Функція регулятора полягає в контролі значень напруги та струму в електричній мережі, які надходять до мікроконтролера через датчики напруги, датчики струму та нормуючі перетворювачі. Для запобігання коротким замиканням перемикання тиристорів необхідно виконувати при переході струму в відповідній фазі через нуль, коли попередній ключ вимикається. Для визначення цього моменту використовуються компаратори. Сигнали для вмикання силових ключів формуються на виходах порта C контролера і надходять до силових ключів. Значення уставки напруги та коефіцієнти закону керування зберігаються у Flash-пам'яті контролера. Для управління роботою регулятора використовується блок індикації та клавіатури. Зв'язок з верхнім рівнем ПЕОМ реалізується через послідовний інтерфейс за допомогою відповідного блока.

- Висновки

- Даній бакалаврській кваліфікаційній роботі було детально проаналізовано технічну реалізацію систем регулювання напруги, а також сучасний стан регулювання напруги в електричних мережах. Особливу увагу було приділено оптимізації параметрів регулятора нижнього рівня, а також мікропроцесорній реалізації як регулятора напруги, так і блока прийняття рішення з оптимізацією порогового коефіцієнта.
- В рамках дослідження проведено розрахунки обмоток низької та високої напруги, що є критично важливими для вибору відповідних вимірювальних приладів та реле, які підключаються до трансформаторів. Це підкреслює необхідність розробки нових методів і засобів регулювання якості електричної енергії для забезпечення надійної роботи існуючого обладнання.