

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги»

КНУ.МР.141.25.667-04

Виконав студент II курсу , групи СЕП-24м /Артур ЗАЄЦЬ/
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
«Системи електропостачання промислових підприємств,
міст та локальних об'єктів»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

к.т.н., доцент

_____/Ігор СІНЧУК/

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент

_____/Ігор СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Олексій МИХАЙЛЕНКО/

Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет
Факультет: електротехнічний
Освітній рівень: магістр
Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЗАЄЦЬ Артур Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Засоби регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій; II. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції; III. Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Трансформатор поперечного регулювання; II. Стабілізатор змінної напруги; III. Пристрій регулювання реактивної потужності; IV. Схема системи електропостачання; V. Моделювання.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ігор СІНЧУК		
II	Ігор СІНЧУК		
III	Ігор СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Існуючі засоби регулювання вихідної напруги силових трансформаторів	10.09.25
2	Способи управління поздовжньо-поперечним регулюванням напруги	17.09.25
3	Регулювання вихідної напруги трансформатора при компенсації реактивної потужності	24.10.25
4	Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги трансформатора у замкненій мережі живлення	04.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Артур ЗАЄЦЬ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи магістра на тему: «Дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги», КНУ.РМ.141.25.667-04

Об'єкт розробки – силові трансформатори з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги.

Мета роботи – дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги.

У роботі вирішено завдання створення таких електричних комплексів які будуть не тільки забезпечувати регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій але й створювати задовільний режим роботи системи електропостачання, що призведе до покращення показників якості споживання електричної енергії та зменшенням втрат у мережі живлення.

СИЛОВИЙ ТРАНСФОРМАТОР, РЕЖИМИ РОБОТИ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ

Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. Засоби регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій.....	11
1.1. Існуючі засоби регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій.....	11
1.2. Постановка завдання дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги.....	22
Розділ 2. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції.....	23
2.1. Способи управління поздовжньо-поперечним регулюванням напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції.....	23
2.2. Регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції при компенсації реактивної потужності з боку споживачів електричної енергії.....	28
Розділ 3. Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення.....	32
3.1. Система керування поздовжньо-поперечного регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення	32
3.2. Результати аналізу можливостей регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції	36
Висновки	38
Додатки.....	40

Вступ

Сучасні технологічні лінії які забезпечують виробничі процеси налічують безліч елементів автоматизації технологічного процесу.

Промислові установки технологічних ліній потребують новітнього підходу щодо ефективності процесу споживання електричної енергії.

З'являється тенденція щодо застосування сучасних автоматизованих систем обліку та керування споживанням електричної енергії.

Насамперед подібні системи виходять з обґрунтування економічної доцільності що у свою чергу потребує більш ретельного підходу щодо розгляду процесу споживання електричної енергії як складової циклу виробництва.

Слід зазначити що велику увагу служба енергетичного менеджменту приділяє таким особливостям споживання електричної енергії як показники якості.

Також слід зазначити що при цьому до показників якості споживання електричної енергії приділяються додаткові вимоги від компаній постачальників, а отже умови споживання електричної енергії мають забезпечувати належні показники якості які враховані із занесені у державні стандарти.

До сучасних мереж живлення які забезпечують електропостачання виробничим підприємствам можна віднести таку особливість як протяжність та наявність розподільчих пристроїв.

Трансформаторні підстанції від яких живляться виробничі лінії підприємства знаходяться на різній віддаленості від кінцевих споживачів електричної енергії.

Цей факт обумовлює необхідність застосовувати більш досконалі методи передачі електричної енергії від джерел її виробництва до кінцевого споживача.

Вирішенням задачі підвищенням якості транспортування електричної енергії має опиратись на такі факти як кількість підстанцій що зустрічаються вздовж лінії електропередач.

Також слід зазначити що важливим показником є необхідність підтримувати стаке значення напруги живлення промислових споживачів оскільки відхилення від нормованого значення напруги живлення може призвести до аварійних ситуацій що викликають можливість відключення обладнання.

Це може призвести до зриву технологічного процесу суттєвого браку виготовленої продукції, тому такі споживачі які відносяться до другої групи мають бути забезпечені належним джерелом живлення.

Велика протяжність лінії електропередач також впливає на суттєві втрати на ділянках мережі живлення.

Отже існує необхідність регулювання напруги живлення промислових споживачів електричної енергії.

Таке регулювання здійснюється шляхом зміни вихідної напруги трансформаторів виробничих підстанцій завдяки чому компенсується нестача або надлишок вихідної напруги на технологічному обладнанні.

Вирішення питання компенсації відхиленням напруги живлення дозволяє суттєво збільшити надійність мережі живлення та зберегти працездатність обладнання розподільчих мереж та підстанцій.

Головним чинником що викликає розсогласування номінальної напруги живлення із її дійсним значенням є зміна режиму роботи технологічного обладнання.

Також одним з чинників який негативно впливає на відхилення напруги живлення є наявність реактивної складової потужності у мережі що у свою чергу спричиняє додаткову втрату напруги живлення споживачів.

Для своєчасного запобігання впливу реактивної складової потужності на параметри мережі живлення необхідно забезпечувати її своєчасний облік та виходячи зі значень моніторингу реактивної складової застосовувати методи компенсації відхилення напруги живлення від номінального значення.

Одним з ефективних методів підтриманням напруги живлення у межах номінального значення є модернізація існуючого обладнання до сучасного рівня.

Перш за все модернізація має стосуватися засобів регулювання напруги живлення на рівні трансформаторних підстанцій та розподільчих мереж.

Слід зазначити що одним з основних засобів регулювання напруги живлення у розподільчих мережах є силові трансформатори які встановлені на розподільчих підстанціях.

Також можна відзначити що силові трансформатори розподільчих підстанцій при регулюванні напруги живлення не можуть бути від'єднані як від мережі так і від навантаження яке вони живлять тому регулювання напруги живлення силовими трансформаторами розподільчих підстанцій виконується під навантаженням але таке виконання обмежує ресурс роботи силового трансформатору тому не може виконуватись велику кількість раз протягом доби.

Отже для регулювання напруги живлення силових трансформаторів розподільчих підстанцій необхідно шукати інші більш заощадливі методи регулювання.

Одним з ефективних методів регулювання напруги живлення силових трансформаторів розподільчих підстанцій є застосування способу управління режимом електропостачання за потужністю з використанням статичних накопичувачів електричної енергії.

Але такий спосіб управління має забезпечуватись високим ступенем автоматизації пристроями регулювання напруги живлення.

Слід зазначити що таке регулювання має погоджуватись з проміжними підстанціями які знаходяться на одній лінії електропередач.

Також важливим є при здійсненні такого методу регулювання напруги живлення забезпечення балансу потужності електричних приймачів.

Звісно якщо виникає надлишок реактивної потужності то це призводить до зростання відповідних втрат.

Тому слід також розрізняти методи компенсації реактивної потужності в лінії електропередач.

Так послідовна компенсація реактивної потужності в лінії електропередач дозволяє зменшувати втрати реактивної потужності але при цьому споживання електричної енергії не буде змінюватись.

Отже актуальним є створення таких електричних комплексів які будуть не тільки забезпечувати регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій.

Але вони мають й створювати задовільний режим роботи системи електропостачання, що призведе до покращення показників якості споживання електричної енергії та зменшенням втрат у мережі живлення.

Отже метою роботи можна назвати підвищенням показників якості споживання електричної енергії та надійності мережі живлення за рахунок

автоматичного регулювання напруги живлення силових трансформаторів розподільчих підстанцій.

Розділ 1. Засоби регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій

1.1. Існуючі засоби регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій

Засобами регулювання вихідної напруги у розподільчій мережі є силові трансформатори розподільчих підстанцій.

Вони забезпечують узгодження між енергетичними джерелами генерації електричної енергії та споживачами на ділянці місцевості.

Таким чином відбувається погодження між номіналами напруги живленням віддалених та близьких споживачів електричної енергії.

Режим напруги живлення заздалегідь зазвичай не може бути визначений та може змінюватись у процесі роботи.

При таких змінах використовуються регулювальні відгалуження силових трансформаторів при цьому зміна напруги живлення може бути досягнута у межах від 10 до 20%.

Такі відгалуження можуть бути використані як на стороні високої так низької напруги силового трансформатора, але при використанні низької сторони суттєво зростатимуть робочі струми що призводить до підвищеного зношення силових контактів регулювального обладнання.

Одним з ефективних способів регулювання напруги живлення силових трансформаторів розподільчих підстанцій є використання спеціальних вольтодобавних трансформаторів.

Виходячи зі схеми включення вольтодобавних трансформаторів можна застосувати додаткове живлення шляхом введення повздовжньої, поперечної або позовжньо-поперечної ЕРС.

Таким чином можна впливати на вектор вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

Розглянемо поперечне регулювання вектору вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

Для такого рішення необхідно мати спеціальний трансформатор який має містити трансформатор живлення а також послідовний трансформатор при цьому на первинній обмотці трансформатора живлення можна отримати живлення від двох фаз обмоток низької напруги які приєднані до силового трансформатора розподільчої підстанції.

Вторинні обмотки трансформатора живлення мають бути виконані секційно та підключені до виводу на первинній обмотці трансформатора який приєднано послідовно з пристроєм регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції.

Таким чином поперечне регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції застосовується при необхідності у регулюванні струморозподілу за активною потужністю як у мережі так й у навантаженні.

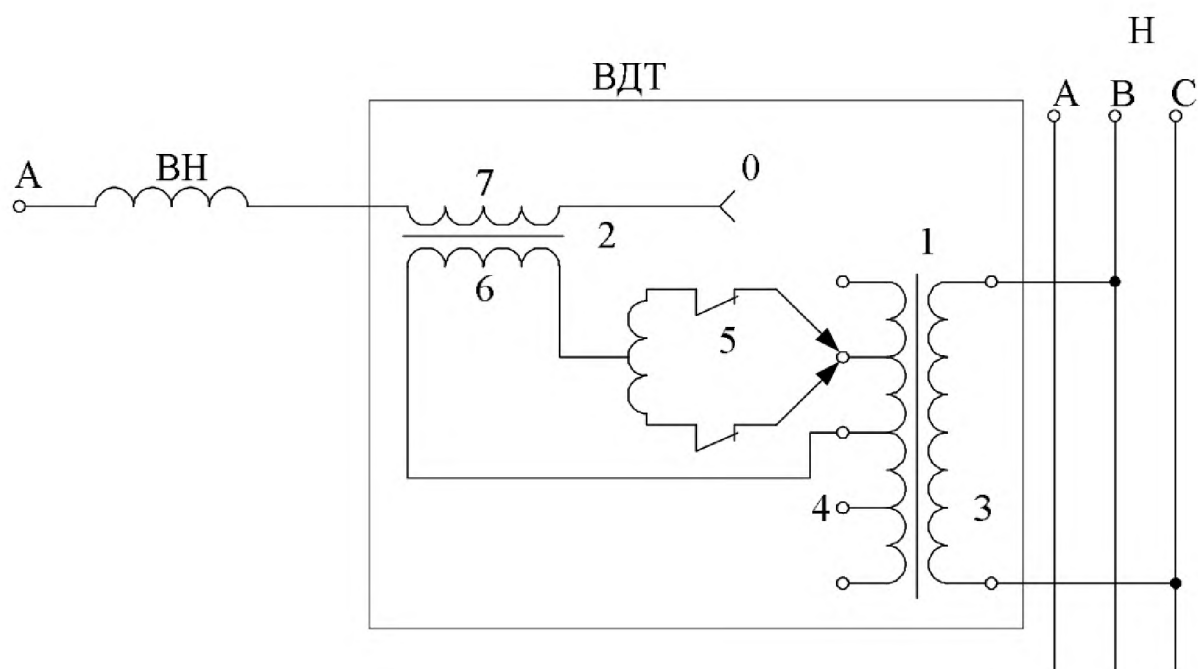


Рис. 1.1 Поперечне регулювання вектору вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції

Розглянемо приклад застосування регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції при необхідності зміни напруги живлення так коефіцієнту трансформації.

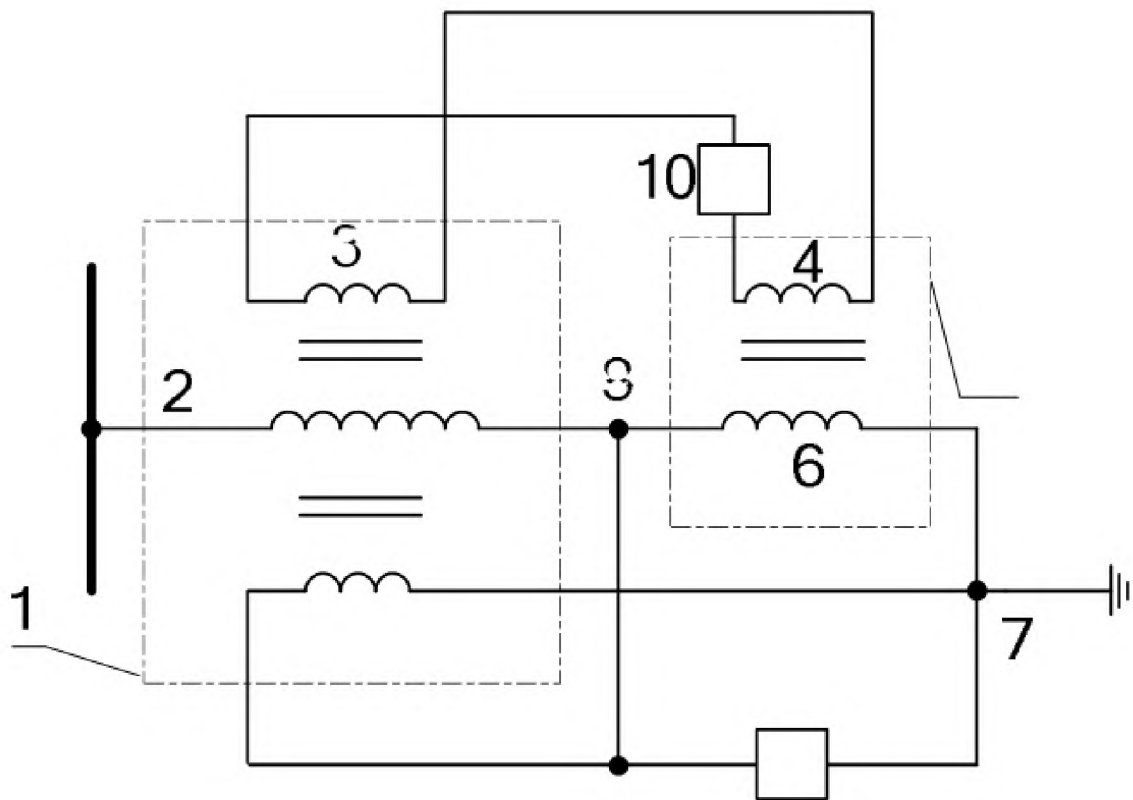


Рис. 1.2 Приклад застосування регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції при необхідності зміни напруги живлення так коефіцієнту трансформації

При такому застосуванні силовий трансформатор розподільчої підстанції має працювати з насиченням сталі, при цьому буде знижуватись опір обмотки високої напруги у схемі живлення.

З'єднанням у такий спосіб дозволяє керувати перетоками потужності але має низьку точність регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

Також до недоліків подібної схеми з'єднання слід віднести неможливість враховувати зміну потужності та режиму електроспоживання з боку навантаження силового трансформатора розподільчої підстанції.

Розглянемо схему пристрою який дозволяє враховувати зміну потужності та режиму електроспоживання з боку навантаження силового трансформатора розподільчої підстанції.

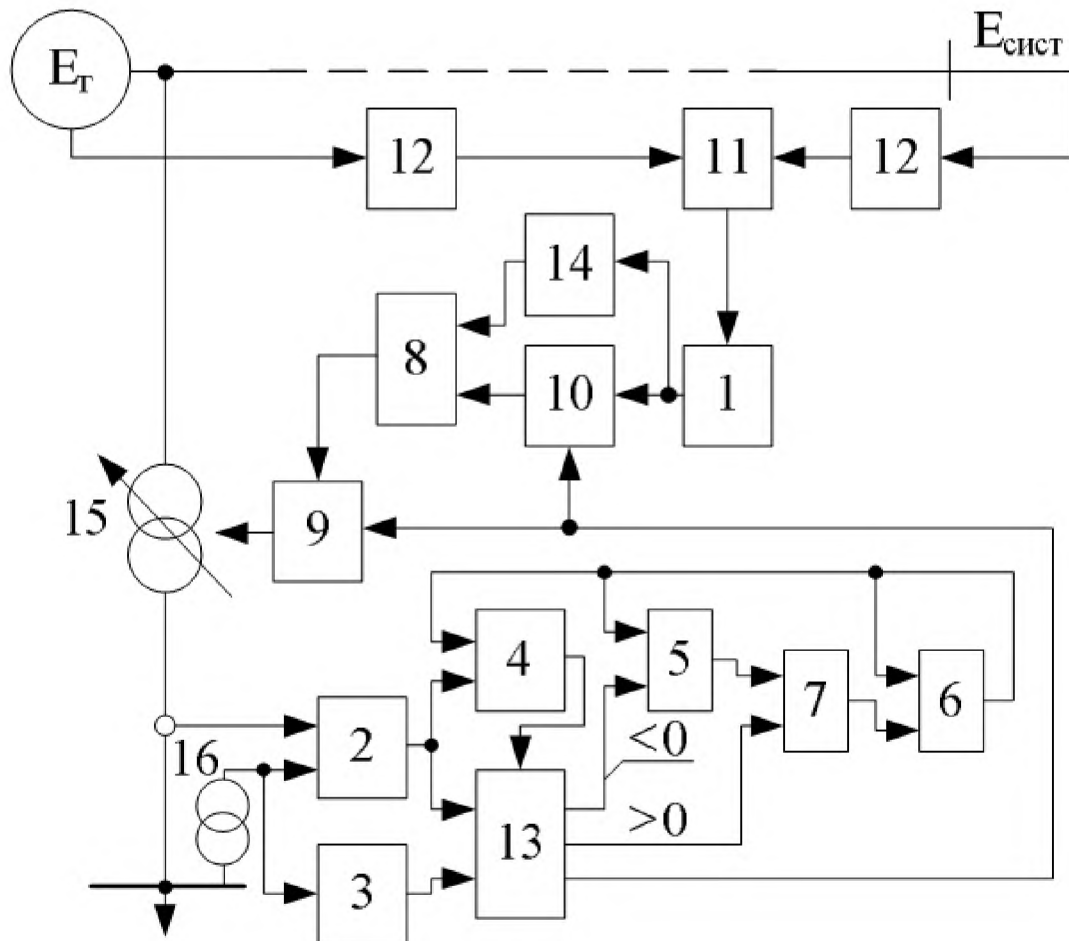


Рис. 1.3 Схема пристрою який дозволяє враховувати зміну потужності та режиму електроспоживання з боку навантаження силового трансформатора розподільчої підстанції

Пристрій містить елементи регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанцією які дозволяють поліпшити якість регулювання вихідної напруги за рахунок диференціюючих блоків.

Такий спосіб регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції враховує переток за активною потужністю при зміні напруги живлення але не враховує перетоки за реактивною потужністю оскільки використовує можливість лише зміни коефіцієнту трансформації силового трансформатора розподільчої підстанції.

Розглянемо можливість адаптивного регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

При такому регулюванні знаходиться оптимальне відношення між чутливістю пристроїв регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції та витримкою у часі на проведення необхідних перемикань у електричній мережі.

Такий підхід суттєво підвищує якість регулювання вихідної напруги силового трансформатора але не може враховувати зміну вихідного навантаження електричних приймачів та обумовлює використання зустрічного регулювання вихідної напруги.

Також слід зазначити складність алгоритмів пошуку оптимальних значень для співвідношення вихідної напруги живлення та часу перемикання регулюючих пристроїв.

Також відоме по фазне регулювання вихідної напруги силового трансформатора яке застосовується при необхідності симетруванням напруги живлення споживачів електричної енергії.

Пристрої що реалізують такий спосіб мають первинну обмотку яка виконується по схемі "зустрічного зигзагу".

При цьому вимірюються фазні значення напруги живлення та шляхом комутації між схемами що налічують первинні та вторинні обмотки силового трансформатора розподільчої підстанції проводять регулювання й симетрування вихідної напруги у мережі живлення.

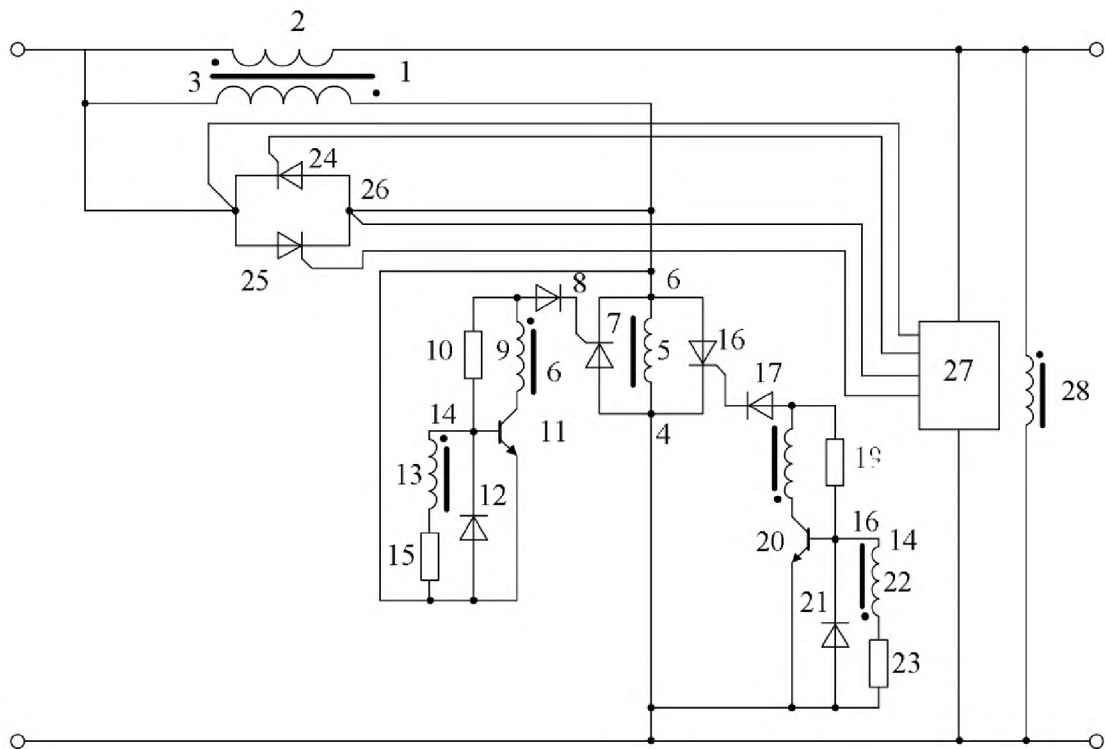


Рис. 1.4 Стабілізація вихідної напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції

Але такий спосіб не містить зворотнього зв'язку за потужністю, що зменшує ефективність його застосування.

Розглянемо можливість стабілізації вихідної напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції.

Такі пристрої містять вольтодобавні трансформатори та при виникненні значенням вихідної напруги яке перевищує порогове значення ключового елемента первинна напруга силового трансформатора прикладається до первинної обмотки вольтодобавного трансформатора що забезпечує зниження вихідної напруги живлення електричних приймачів.

Розглянемо спосіб при амплітудно-фазовому регулюванні вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

При наявності відхилень у сигналі вихідної напруги силового трансформатора виконується фазове регулювання вихідної напруги.

Тобто напруга змінюється у протилежності до відношення напруги мережі живлення.

Але такий пристрій також не містить можливості вимірювати струми збоку приймачів електричної енергії.

Удосконалити подібний пристрій можна за рахунок встановлення додаткового інвертору а також блоку нелінійності який буде впливати на роботу інвертору та виконувати функцію керування корекцією вихідної напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції.

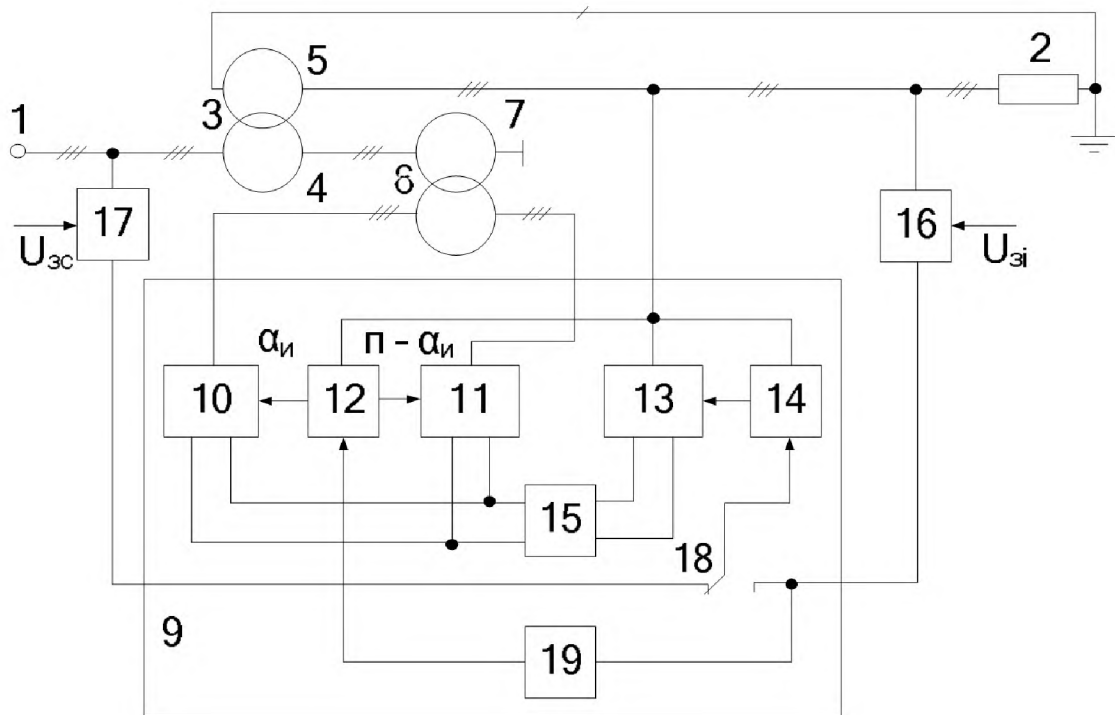


Рис. 1.5 Спосіб амплітудно-фазового регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції

Слід зазначити що в усіх перелічених пристроях немає можливості здійснювати вимірювання реактивної потужності.

Розглянемо пристрій який також базується на стабілізації вихідної напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанцією але при цьому володіє інструментами вимірювання реактивної потужності.

При цьому регулювання вихідної напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції буде погоджуватись із режимом споживання реактивної потужності та в залежності від її значення буде здійснюватись регулювання вихідної напруги силового трансформатора завдяки застосуванню поперечного регулювання напруги за рахунок вольтодобавного трансформатора.

Недоліком такого пристрою є наявність великої кількості ключових елементів що значно ускладнює керування та додатковим забруднює мережу гармонійними складовими.

1.2. Постановка завдання дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги

З результатів аналізу режимів роботи існуючих силових трансформаторів, можна зазначити, що актуальним є створення таких електричних комплексів які будуть не тільки забезпечувати регулювання вихідної напруги силових трансформаторів розподільчих підстанцій але й створювати задовільний режим роботи системи електропостачання, що призведе до покращення показників якості споживання електричної енергії та зменшенням втрат у мережі живлення. Отже метою роботи можна назвати підвищення показників якості споживання електричної енергії та надійності мережі живлення за рахунок автоматичного регулювання напруги живлення силових трансформаторів розподільчих підстанцій.

Розділ 2. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції

2.1. Способи управління поздовжньо-поперечним регулюванням напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції

Такий спосіб управління режимами передачі електричної енергії використовується із застосуванням вольтодобавних трансформаторів.

З'єднання відповідним чином вольтодобавних трансформаторів пристрою поздовжньо-поперечного регулювання вихідної напруги силового трансформатора з розподільчої підстанції дозволяємо вдвічі збільшити діапазон регулювання напруги живлення.

Такий спосіб враховує зміну навантаження з боку електричних приймачів але при цьому спостерігається суттєве зношення електричних з'єднань та силових контактів вольтодобавного обладнання.

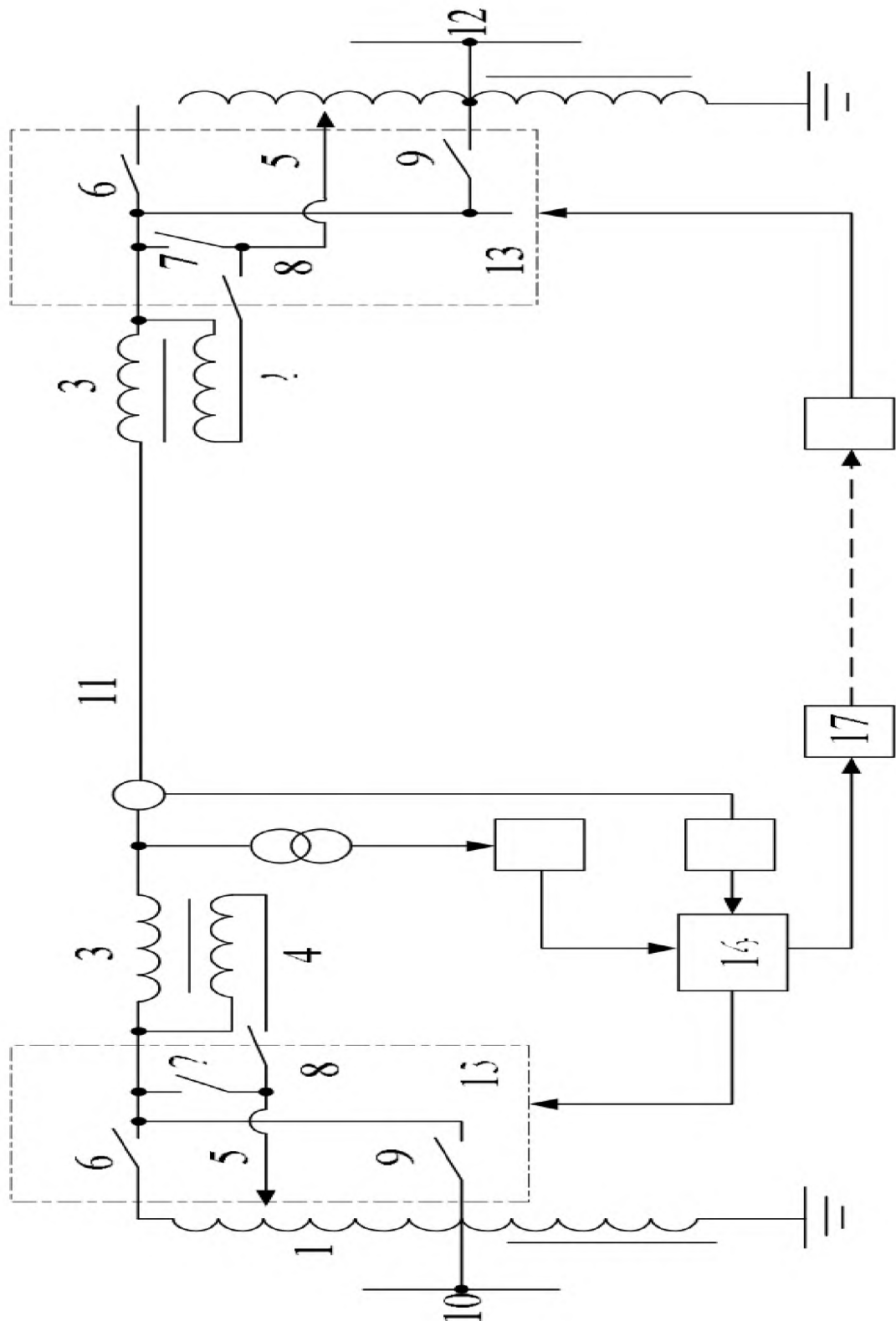


Рис. 2.1 Спосіб управління режимами передачі електричної енергії із застосуванням вольтодобавних трансформаторів

Розглянемо можливість застосовувати регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанцією при наявності електричних приймачів з реактивним характером навантаження.

Такі пристрої мають містити порівняльні схеми з логічних елементів що зібрані на операційних підсилювачах.

Відповідно до логіки перемиканням вентильних елементів відбувається порівняння знаку напруги та струмів навантаження при цьому у результаті зміни контуру протікання реактивного струму формується значення за реактивною потужністю у кожній з фаз навантаження.

Недоліком такої схеми є наявність гармонійних складових які утворюються при комутації вентилів та забруднюють мережу живлення.

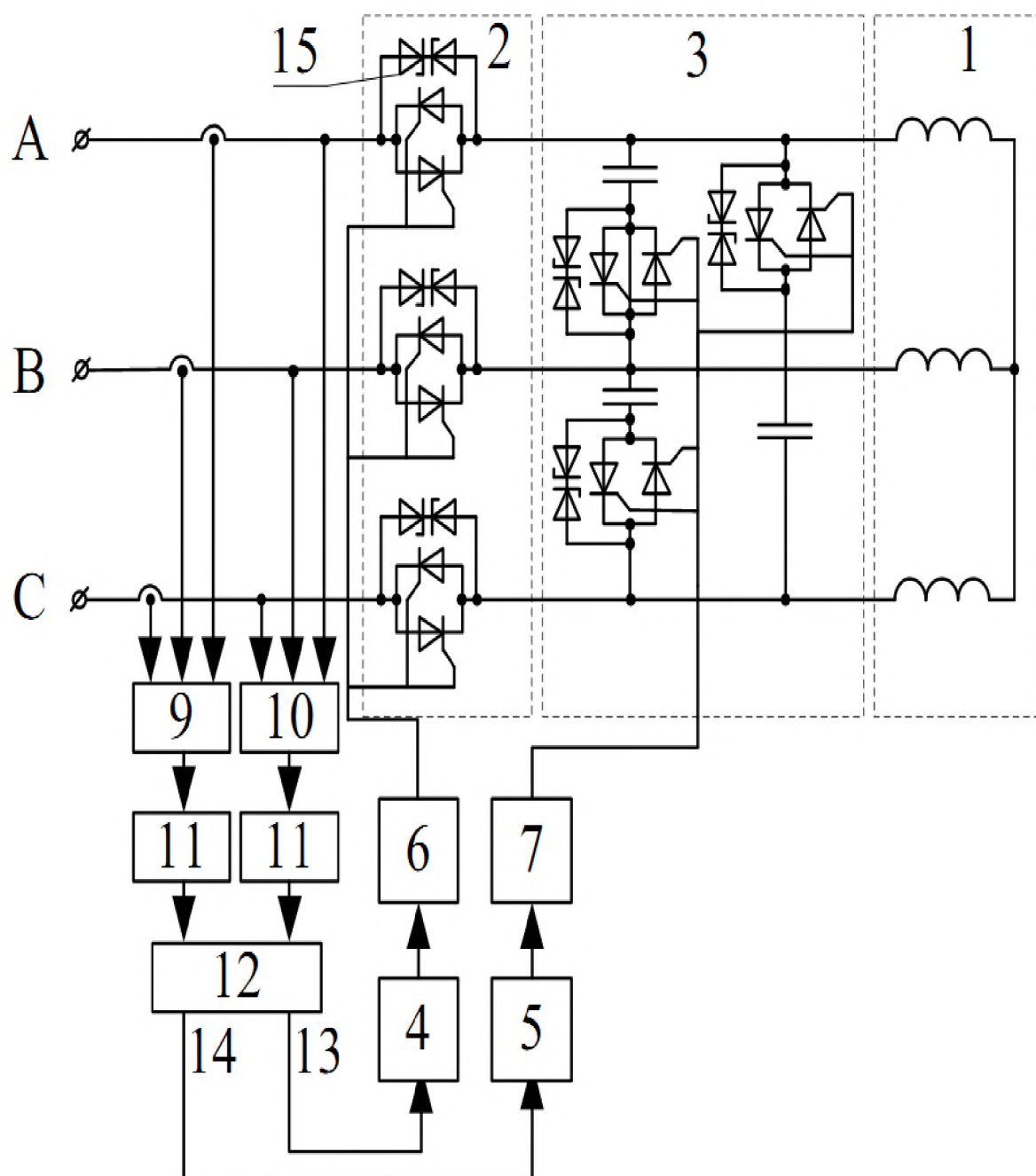


Рис. 2.2 Застосування регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанцією при наявності електричних приймачів з реактивним характером навантаження

Розглянемо підхід щодо комплексного вирішення питання можливості регулювання вихідної напруги силового трансформатора та при врахуванні перетоків реактивної потужності приєднаного навантаження споживачів електричної енергії.

Такі структури містять у своєму складі мікропроцесорні засоби аналізу та обробки вхідних сигналів, які дозволяють оперативно опрацьовувати зміну параметрів мережі живлення та за допомогою зворотнього зв'язку з боку навантаження відпрацьовувати зміну сигналу керування для формування необхідного рівня вихідної напруги силового трансформатора розподільчої мережі.

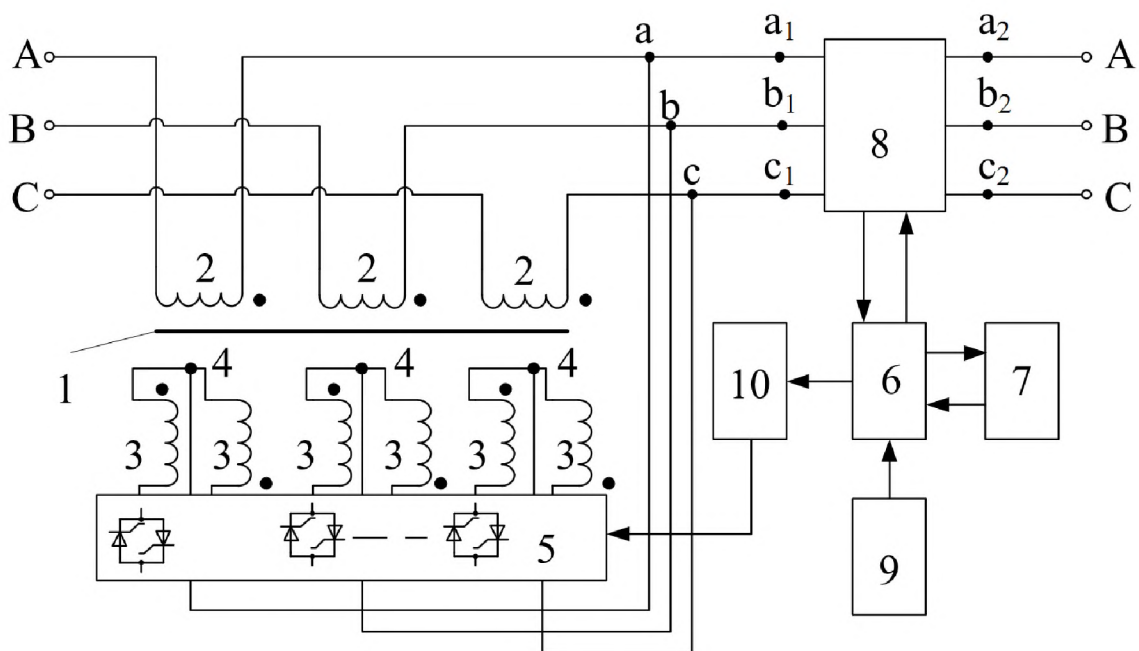


Рис. 2.3 Комплексний підхід до вирішення питання можливості регулювання вихідної напруги силового трансформатора при врахуванні перетоків реактивної потужності приєднаного навантаження споживачів електричної енергії

2.2. Регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції при компенсації реактивної потужності з боку споживачів електричної енергії

Такий підхід застосовується при необхідності регулювати напругу силового трансформатора розподільчої підстанції у мережах з перерозподілом реактивної потужності в лінії електропередач.

Зазначений метод дозволяє компенсувати коливання напруги живлення в лінії електропередач при зміні електричного навантаження при цьому вихідна напруга силового трансформатора розподільчої підстанції має можливість зміни відносно значень мережі живлення.

Даний спосіб базується на можливості змінювати еквівалентний опір у первинній обмотці силового трансформатора при регулюванні струму вторинної обмотки.

При такому способі регулювання змінюється кут магнітного зв'язку між обмотками за допомогою регулятора на первинній та вторинній стороні силового трансформатора розподільчої підстанції але такий спосіб пов'язаний з наявністю великих втрат у силових обмотках трансформатора.

Поліпшити роботу даної системи можна завдяки застосуванню регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції при місцевій компенсації реактивної потужності.

Але для застосування подібного методу регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції необхідно мати додаткову конденсаторну батарею яка встановлюється на розподільчій підстанції у безпосередній близькості до силового трансформатора.

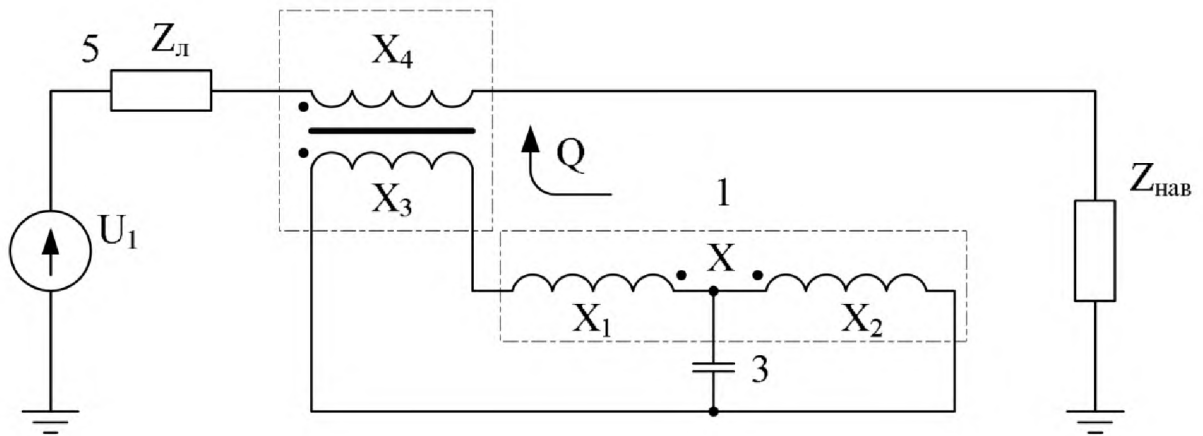


Рис. 2.4 Регулювання напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у мережах з перерозподілом реактивної потужності в лінії електропередач

Стабілізувати вихідну напругу силового трансформатора розподільчої підстанції можна завдяки застосуванню спеціальних схем з'єднання при відхиленні напруги для споживачів зі зміною навантаженням та при зміні значення споживання реактивної потужності.



Рис. 2.5 Стабілізація вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції завдяки застосуванню спеціальних схем з'єднання при відхиленні напруги для споживачів зі зміною навантаженням та при зміні значення споживання реактивної потужності

При комплексному управлінні режимами електропостачання можна запропонувати керуванням перетоками активної та реактивної складових потужності у схемах що містять систему управління реакторами та блоки порівняння з функціональними перетворювачами які складені на логічних елементах що використовують операційні підсилювачі з інтегрально-пропорційними складовими.

Такі схеми дозволяють керувати режимами електропостачання розподільчих підстанцій.

Даний спосіб керування режимами електропостачання розподільчих підстанцій базується на підході попереднього визначення похідної від активної складової потужності а також похідної від реактивної складової потужності та порівняння цих значень у логічних блоках при їх вимірюванні.

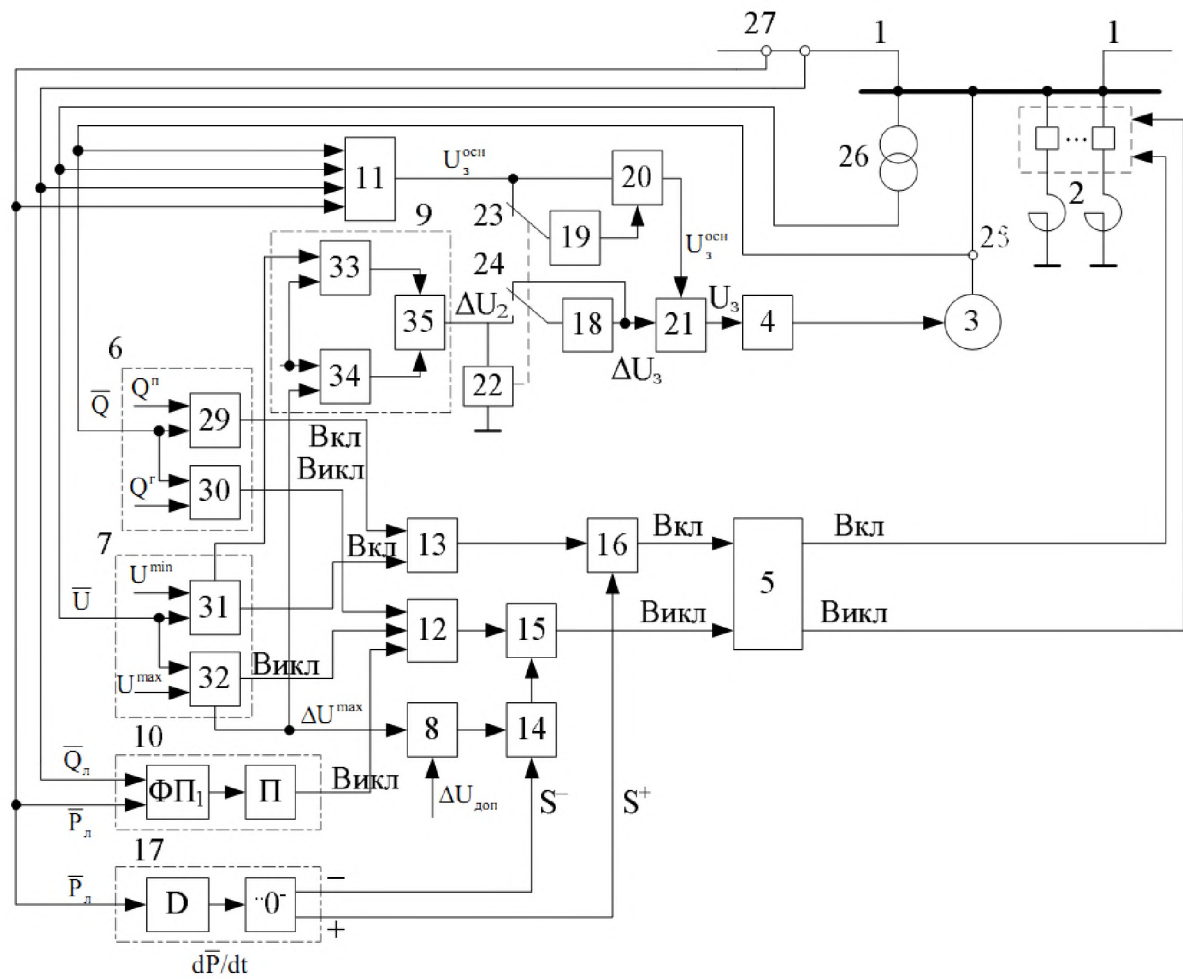


Рис. 2.6 Керування перетоками активної та реактивної складових потужності у схемах що містять систему управління реакторами та блоки порівняння з функціональними перетворювачами які складені на логічних елементах що використовують операційні підсилювачі з інтегрально-пропорційними складовими

Розділ 3. Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення

3.1. Система керування поздовжньо-поперечного регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення

Поздовжня поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення можливо за рахунок затримки сигналів на перемикання елементів компенсації силового трансформатора що дозволяє унеможливити проведення перемикачів при короткочасній зміні навантаження на навантаженні.

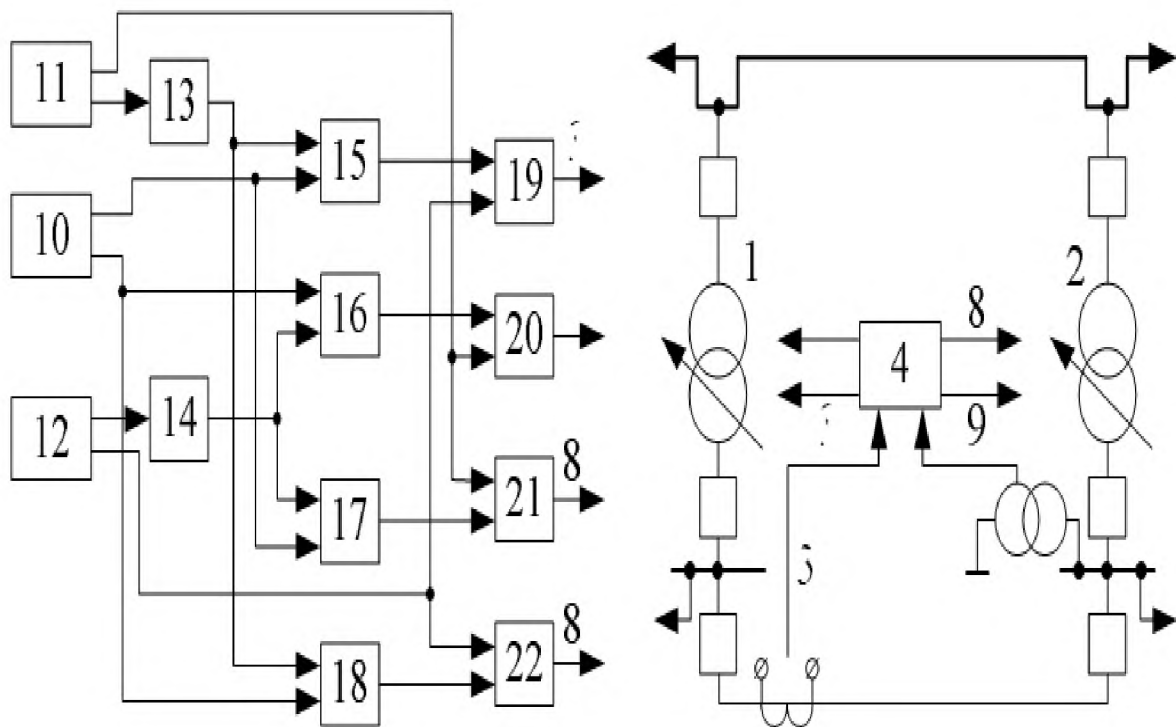


Рис. 3.1 Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення

При виконанні такого підходу порівнюється з значенням струмів у лінії електропередач і при наявності зростання напруги живлення вольтодобавного трансформатора формується сигнал затримки у часі та унеможливується зміна коефіцієнту трансформації силового трансформатора при цьому стійкість зниження струмів у лінії електропередач забезпечується відповідним виключенням вольтодобавного трансформатора від джерела живлення.

Такий спосіб регулювання підходить також й для систем зі значними перетоками потужності та обмеженнями рівню навантаження електричних

приймачів. Таким чином при зміні напруги електричних приймачів вираховується сумарне значення втрат яке надалі порівнюється зі значеннями приведеними при перемиканні.

Застосуванням складного алгоритму обчислення вхідних сигналів знижує швидкість розрахунку але збільшує надійність запропонованої системи.

Таким чином запропонований принцип поперечного регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчою підстанцією при необхідності компенсації зниження напруги з боку електричних приймачів має використовуватись тільки із застосуванням вольтодобавних трансформаторів які мають бути обладнані пристроями регулювання вихідної напруги під навантаженням.

Вибірковість запропонованого принципу забезпечує наявність пропускної здатності при роботі схеми яка налаштовується за допомогою ємнісного фільтру який налаштовується на значенням активного опору мережі живлення.

До гідностей подібного способу регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції можна віднести необмежену кількість здійснюваних перемикань які мають позитивні якості при виникненні короточасних коливань вихідної напруги при різкому характері зміни навантаженням з боку електричних приймачів.

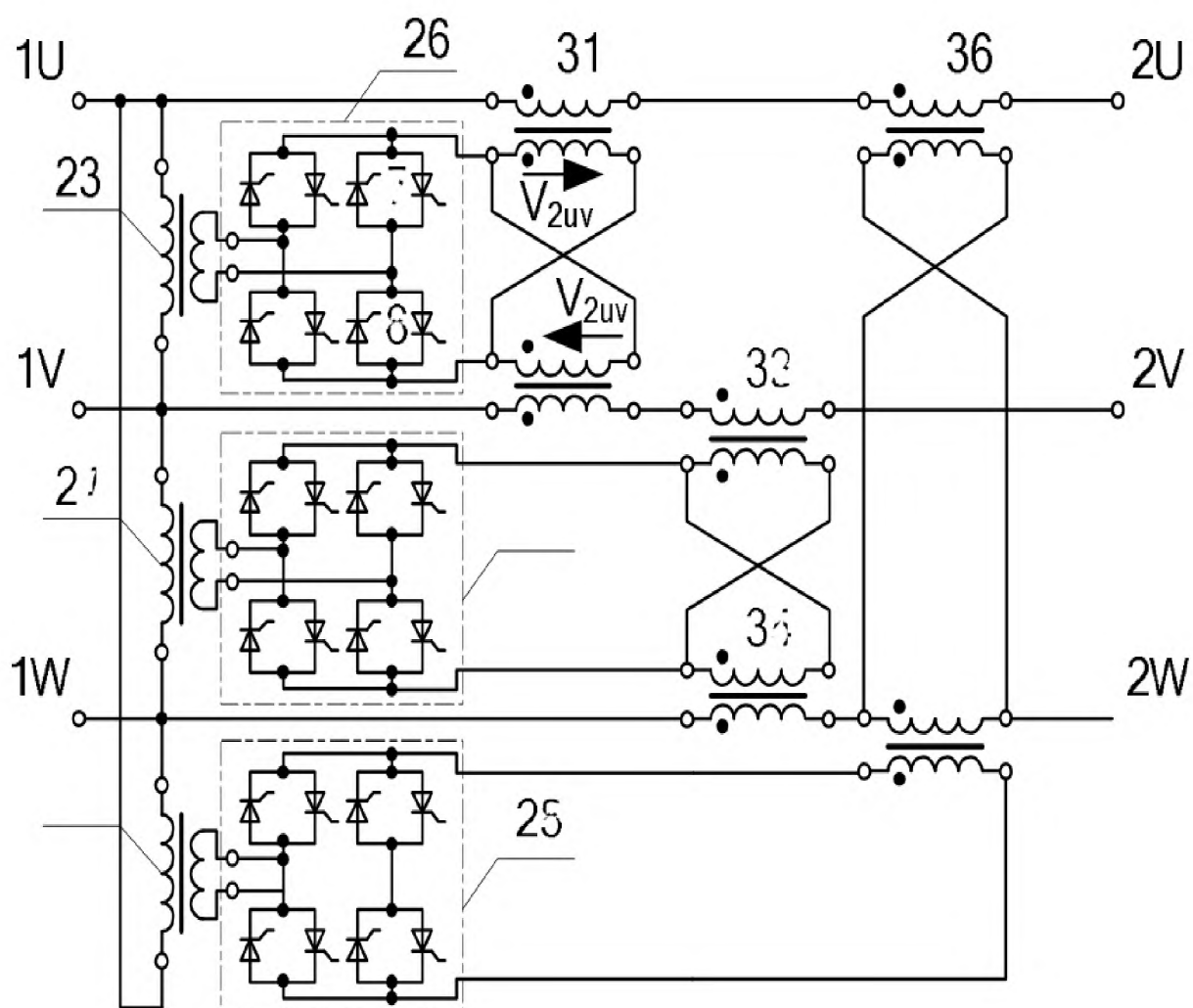


Рис. 3.2 Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення за рахунок затримки сигналів на перемикання елементів компенсації силового трансформатора

3.2. Результати аналізу можливостей регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції

При глибокому регулюванні вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції необхідно враховувати зміну навантаження з боку приймачів електричної енергії.

Наявність реактивної складової потужності обумовлює необхідність враховувати перетоки реактивної потужності при здійсненні регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

Наявність реактивної складової потужності обумовлює суттєві обмеження щодо можливостей регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

При регулюванні вихідної напруги силового трансформатора розподільчою підстанцією слід застосовувати методи які дають можливість поліпшувати показники якості споживання електричної енергії.

Також важливим є дослідження роботи запропонованого способу регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у практичних умовах із застосуванням вимірювальної техніки.

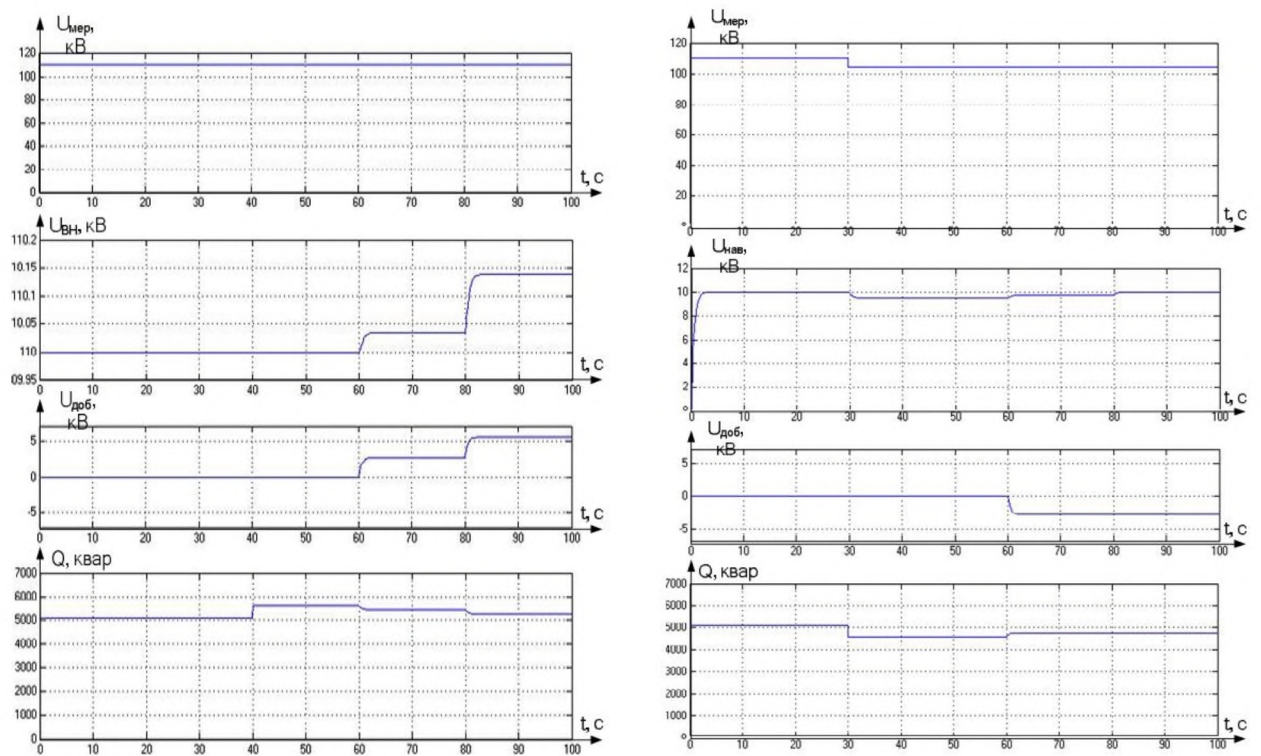


Рис. 3.3 Дослідження роботи запропонованого способу регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у практичних умовах із застосуванням вимірювальної техніки

Отримані графіки показують ефективність використання запропонованого способу поздовжньо-поперечної компенсації відхилень вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

Висновки

Метою роботи було дослідження режимів роботи силових трансформаторів з керуванням за системою поздовжньо-поперечного регулювання напруги.

З аналізу можливостей регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції можна зробити деякі висновки. Зокрема при глибокому регулюванні вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції необхідно враховувати зміну навантаження з боку приймачів електричної енергії.

Наявність реактивної складової потужності обумовлює необхідність враховувати перетоки реактивної потужності при здійсненні регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції. Наявність реактивної складової потужності обумовлює суттєві обмеження щодо можливостей регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

При регулюванні вихідної напруги силового трансформатора розподільчою підстанцією слід застосовувати методи які дають можливість поліпшувати показники якості споживання електричної енергії.

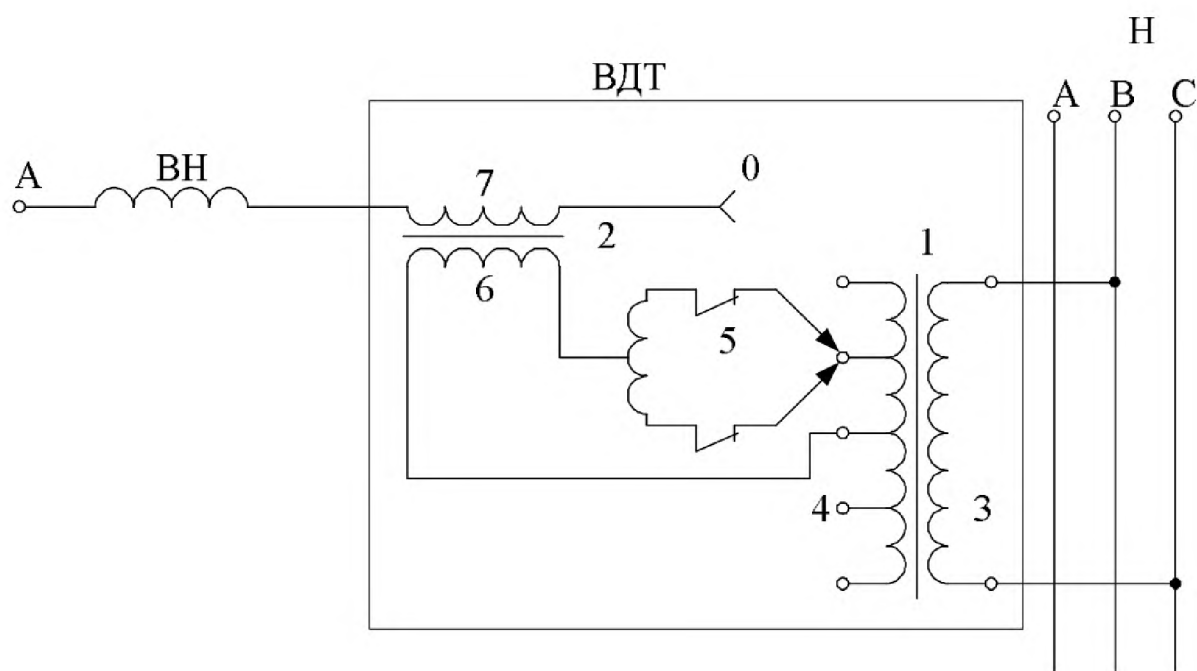
Для подальшого удосконалення систем регулюванням вихідної напруги силових трансформаторів розподільчої підстанції необхідно визначити закон поздовжньо-поперечної компенсації відхилення напруги силового трансформатора розподільчої підстанції при зміні режимів споживання електричної енергії в залежності від зміни потужності з боку навантаження.

Також важливим є дослідження роботи запропонованого способу регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у практичних умовах із застосуванням вимірювальної техніки.

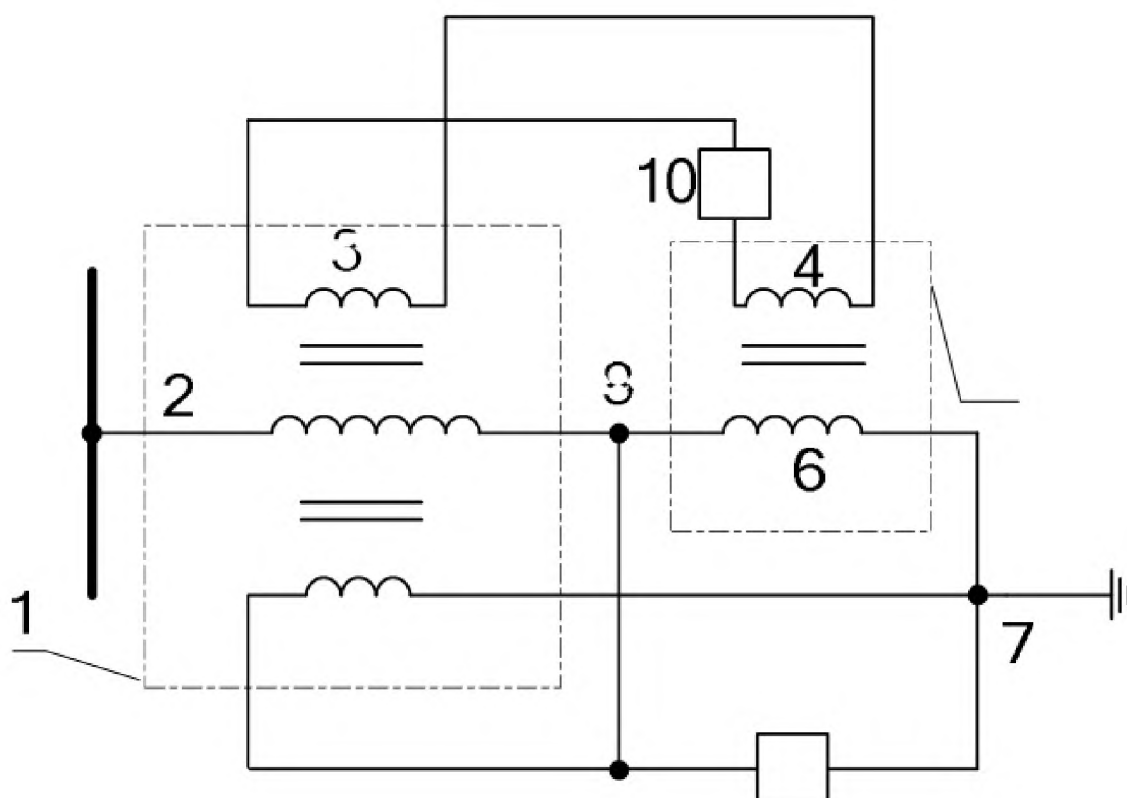
Отримані графіки показують ефективність використання запропонованого способу поздовжньо-поперечної компенсації відхилень вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції.

Додатки

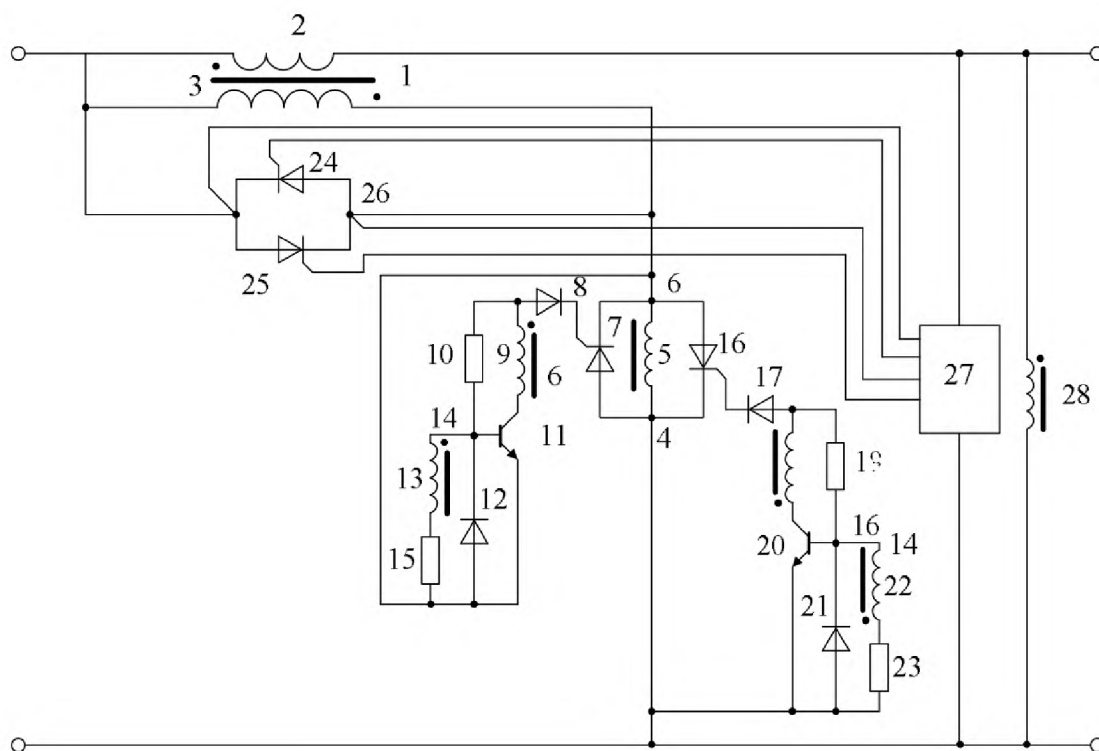
Поперечне регулювання вектору вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції



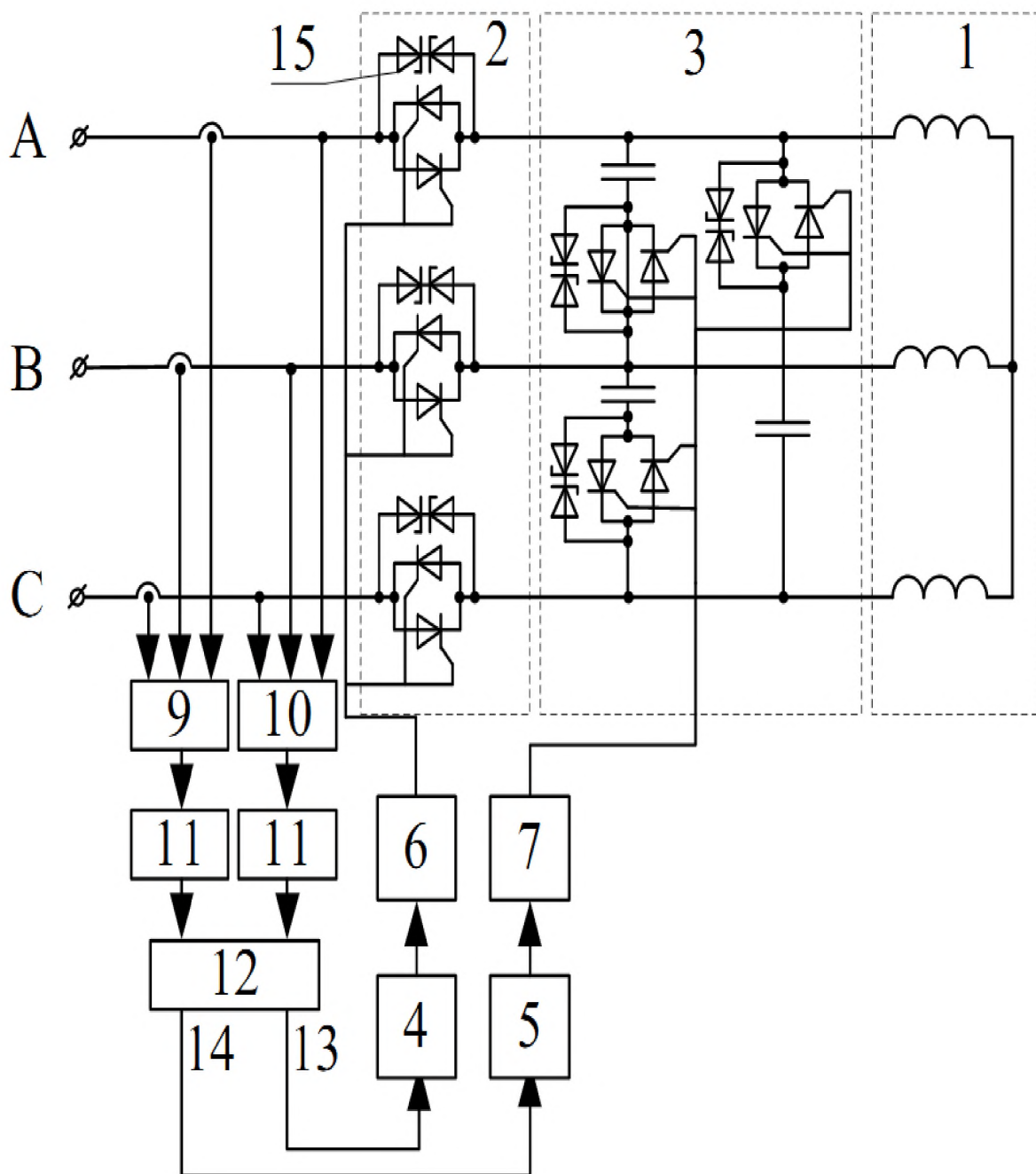
Приклад застосування регулювання напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції при необхідності зміни напруги живлення так коефіцієнту трансформації



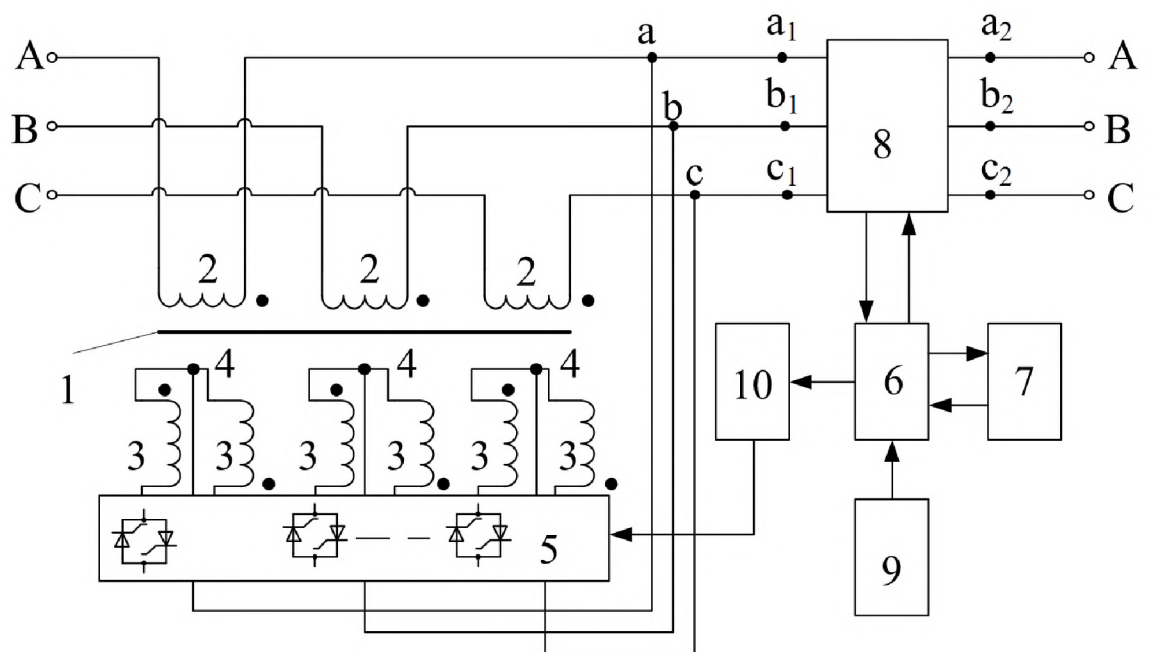
Стабілізація вихідної напруги живлення силового трансформатора розподільчої підстанції



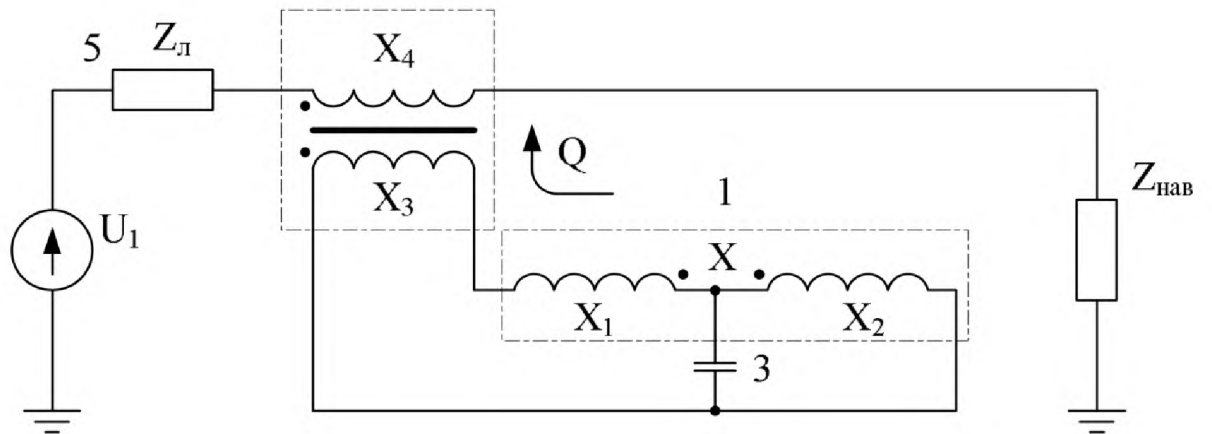
Застосування регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції при наявності електричних приймачів з реактивним характером навантаження



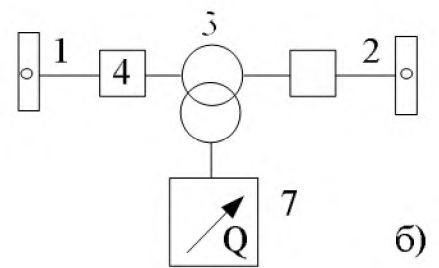
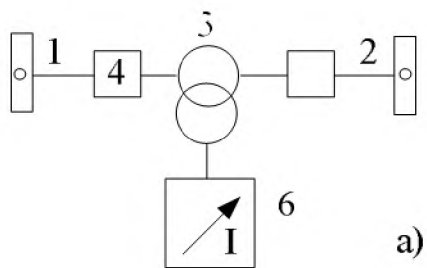
Комплексний підхід до вирішення питання можливості регулювання вихідної напруги силового трансформатора при врахуванні перетоків реактивної потужності приєднаного навантаження споживачів електричної енергії



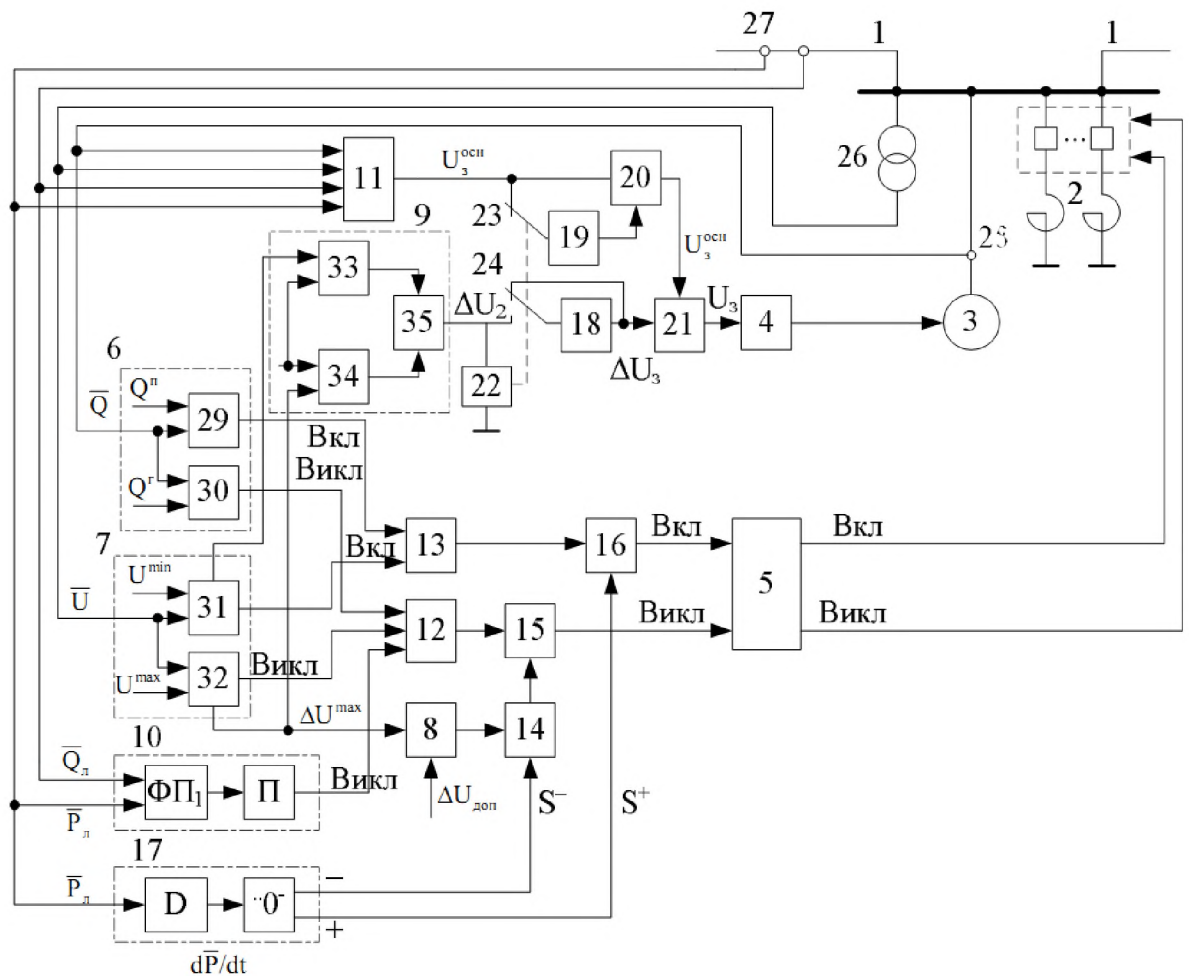
Регулювання напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у мережах з перерозподілом реактивної потужності в лінії електропередач



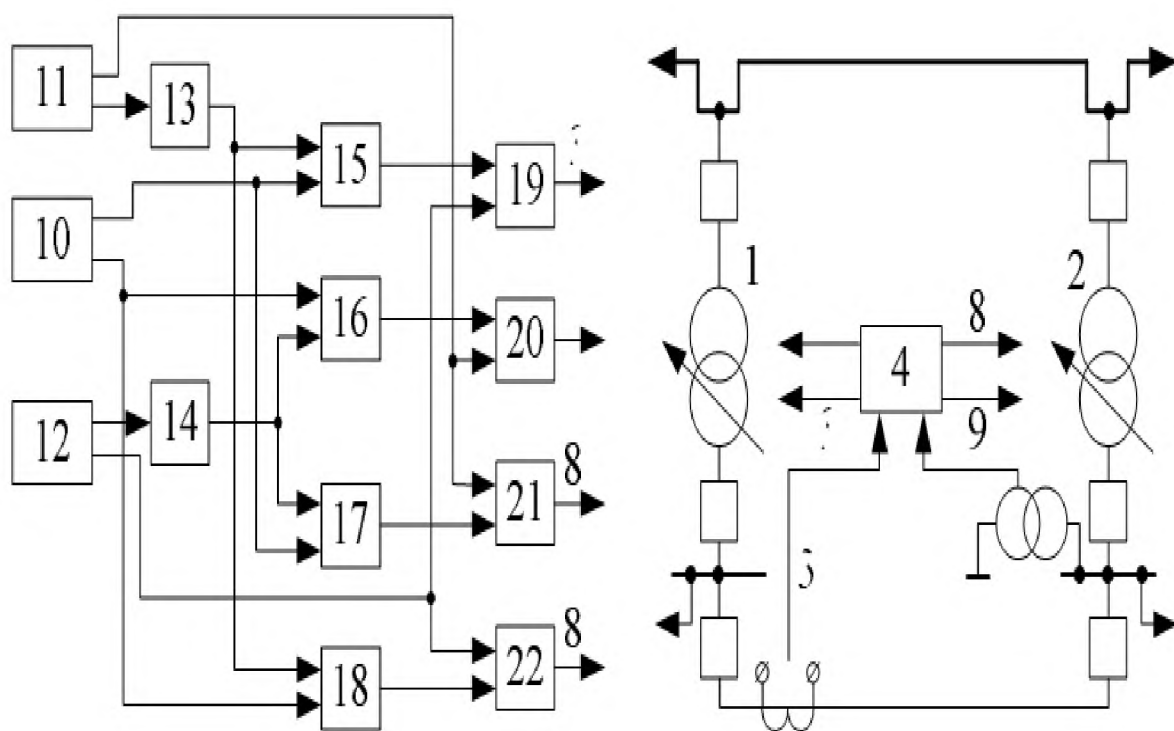
Стабілізація вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції завдяки застосуванню спеціальних схем з'єднання при відхиленні напруги для споживачів зі зміною навантаження та при зміні значення споживання реактивної потужності



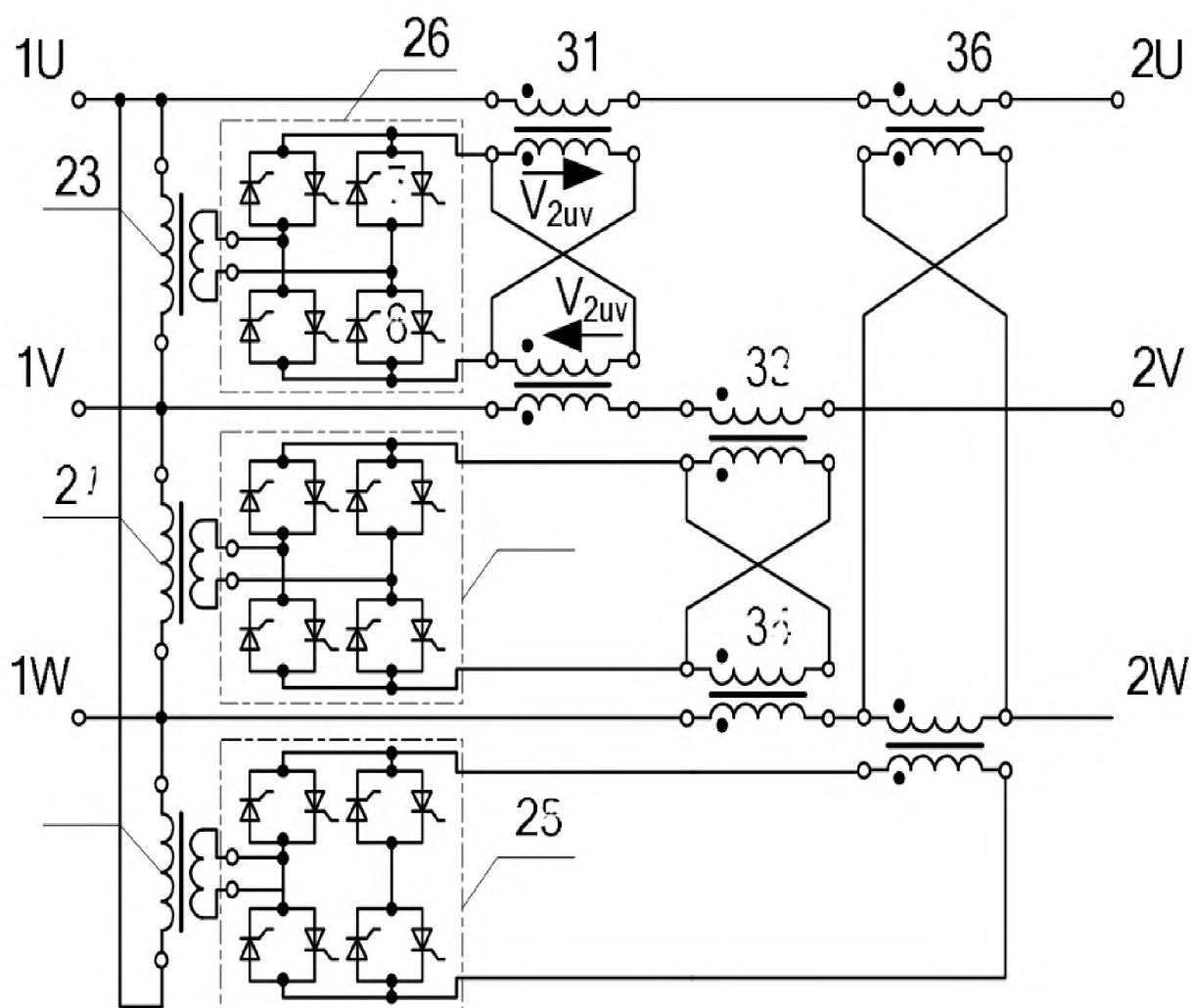
Керування перетоками активної та реактивної складових потужності у схемах що містять систему управління реакторами та блоки порівняння з функціональними перетворювачами які складені на логічних елементах що використовують операційні підсилювачі з інтегрально-пропорційними складовими



Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення



Поздовжньо-поперечне регулювання вихідної напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у замкненій мережі живлення за рахунок затримки сигналів на перемикання елементів компенсації силового трансформатора



Дослідження роботи запропонованого способу регулювання вихідної
напруги силового трансформатора розподільчої підстанції у практичних
умовах із застосуванням вимірювальної техніки

