

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»  
Зав. кафедрою АВП  
к.т.н., доцент  
Олександр Дідик  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
«АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ЦИФРОВИМИ  
КОМПЛЕКСАМИ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»

Виконав здобувач вищої освіти  
II курсу, групи АК-23М-2  
ОПП «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»  
спеціальності 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка»  
\_\_\_\_\_ Шаврунов О.І.  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник роботи  
доцент, к.т.н.  
\_\_\_\_\_ Роман ЖЕСАН  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Рецензент  
к.т.н., доц.  
кафедри КБПЗ  
ЦНТУ  
\_\_\_\_\_ Олег КИСЛУН  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Шаврунова Олега Ігоровича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи** «Автоматизація керування потужністю цифровими комплексами різного призначення»

2. **Керівник роботи**

***Жесан Роман Володимирович, к.т.н., доцент***  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. **Строк подання роботи до захисту 26.12.2024 року**

4. **Мета та завдання кваліфікаційної роботи** система повинна автоматично регулювати напругу трансформатора з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги під навантаженням. Розробка математичної моделі системи; комп'ютерне моделювання роботи системи та мікропроцесорна реалізація регулятора напруги

5. Перелік графічного матеріалу схеми регулювання напруги в різних системах електропостачання; залежності активної та реактивної потужності; функціональна схема системи регулювання напруги; структура регулятора; діаграми сигналів вимірювального каналу; результати комп'ютерного моделювання роботи системи; графіки перехідних процесів.

6. Консультанти розділів роботи\_\_\_\_\_

| Розділ (Додатки)     | Прізвище, ініціали<br>консультанта | Підпис, дата   |                     |
|----------------------|------------------------------------|----------------|---------------------|
|                      |                                    | завдання видав | завдання<br>прийняв |
| <i>Охорона праці</i> | <b>Жесан Р.В.</b>                  |                |                     |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №<br>з/п | Назва етапів випускної кваліфікаційної<br>роботи                                                                                      | Строк виконання<br>етапів роботи | Примітка |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------|
| 1        | Аналіз сучасного стану поздовжньо-поперечного регулювання<br>напруги                                                                  | 16.09.2024                       |          |
| 2        | Вплив поперечного регулювання напруги на режим мереж за<br>потужністю                                                                 | 01.10.2024                       |          |
| 3        | Вибір математичного апарату, придатного для вирішення<br>задачі                                                                       | 10.10.2024                       |          |
| 4        | Синтез структури системи автоматичного керування<br>трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням<br>напруги                  | 22.10.2024                       |          |
| 5        | Реалізація синтезованої структури системи автоматичного<br>керування трансформаторами з поздовжньо-поперечним<br>регулюванням напруги | 02.11.2024                       |          |
| 6        | Дослідження якості розробленої системи регулювання напруги                                                                            | 11.11.2024                       |          |
| 7        | Комп'ютерне моделювання роботи системи регулювання<br>напруги і дослідження її на стійкість                                           | 20.11.2024                       |          |
| 8        | Мікропроцесорна реалізація регулятора напруги для<br>поздовжньо-поперечного регулювання                                               | 30.11.2024                       |          |
| 9        | Заходи з охорони праці                                                                                                                | 09.12.2024                       |          |
| 10       | Оформлення пояснювальної записки                                                                                                      | 19.12.2024                       |          |
| 11       | Підготовка презентації до захисту                                                                                                     | 24.12.2024                       |          |

**Дата видачі завдання**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**Підпис керівника**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**Завдання прийнято до виконання**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**Підпис здобувача**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## **Анотація**

Магістерська робота присвячена розробці електротехнічних комплексів з регулюванням напруги (особливо за допомогою мікропроцесорних систем керування) та створенню задовільних систем електропостачання за реактивною потужністю, а також зменшити втрати енергії та покращити якість.

Метою проекту є вдосконалення системи автоматичного керування трансформаторами шляхом регулювання поздовжньої та поперечної напруги в періоди навантаження для підвищення якості та надійності електропостачання.

У магістерській роботі досліджується вертикальний і горизонтальний регулюючий трансформатор напруги, в якому в якості регулюючих параметрів використовується напруга, активна потужність і реактивна потужність, а в якості додаткового критерію для визначення регулюючої потужності використовується різниця між напругою і реактивною потужністю. Впроваджено розроблену систему автоматичного керування. Розвиток технічного застосування дозволяє створити умови для підвищення надійності та якості електропостачання.

Виконані заходи з охорони та безпеки праці.

## **Abstract**

The master's thesis is devoted to the development of electrical complexes with voltage regulation (especially using microprocessor control systems) and the creation of satisfactory power supply systems for reactive power, as well as to reduce energy losses and improve quality.

The aim of the project is to improve the automatic control system for transformers by regulating the longitudinal and transverse voltage during periods of load to improve the quality and reliability of power supply.

The master's thesis investigates a vertical and horizontal voltage regulating transformer, in which voltage, active power and reactive power are used as regulating parameters, and the difference between voltage and reactive power is used as an additional criterion for determining the regulating power. The developed automatic control system has been implemented. The development of technical applications allows creating conditions for increasing the reliability and quality of power supply.

Occupational health and safety measures have been taken.

## ЗМІСТ

|                                                                                                              |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>ВСТУП</b>                                                                                                 |  |
| <b>1. ОГЛЯД ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ</b>                       |  |
| 1.1. Системи електропостачання для компенсації реактивної потужності                                         |  |
| 1.2. Замкнені мережі систем електропостачання з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги                   |  |
| 1.3. Системи електропостачання для контролю                                                                  |  |
| 1.4. Висновки                                                                                                |  |
| <b>2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОБУДОВА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ</b>                        |  |
| 2.1. Дослідження чинників, що впливають на поперечне регулювання напруги при режимі мереж за потужністю      |  |
| 2.2. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги                                                                |  |
| 2.3. Обґрунтування вибору математичного апарату                                                              |  |
| 2.4. Проведення синтезу структури системи автоматичного регулювання напруги в трансформаторах                |  |
| 2.5. Висновки                                                                                                |  |
| <b>3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ</b>                     |  |
| 3.1. Розробка структури регулятора                                                                           |  |
| 3.2. Моделювання роботи синтезованого каналу керування трансформатором                                       |  |
| 3.3. Моделювання роботи каналу керування трансформатором                                                     |  |
| 3.4. Моделювання роботи синтезованої структури регулятора в перехідних режимах                               |  |
| 3.5. Висновки                                                                                                |  |
| <b>4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГОЮ</b>                                         |  |
| 4.1. Розробка матмоделі                                                                                      |  |
| 4.2. Теоретичне імітаційне моделювання роботи системи регулювання напруги та визначення показників стійкості |  |
| 4.3. Висновки                                                                                                |  |
| <b>5. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ</b>       |  |
| 5.1. Схемна реалізація регулятора напруги                                                                    |  |
| 5.2. Програмна реалізація регулятора напруги                                                                 |  |
| 5.3. Висновки                                                                                                |  |
| <b>ВИСНОВКИ</b>                                                                                              |  |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>                                                                            |  |
| <b>ДОДАТКИ</b>                                                                                               |  |

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Застосування сучасної вітчизняної промислової техніки та сучасних систем автоматизації висуває нові вимоги до якості електроенергії підприємства та надійності електропостачання. Електрична енергія враховується для споживання та продажу і повинна відповідати стандартам якості [46]. Крім того, показники, визначені для надання послуг з електропостачання (відхилення, несиметрії, несинусоїдальні напруги, частоти тощо), повинні підтримуватися на належному рівні за допомогою спеціальних технічних заходів [12]. Коли виробляється електроенергія, деякі товари споживаються негайно.

Оскільки лінії електропередач від електростанцій до споживачів досить довгі, а перетворення електроенергії відбувається в кілька етапів, особливо важливо, щоб стандарти якості електроенергії підтримувалися безпосередньо на електростанціях, а не на самих електростанціях користувача. Ця проблема буде вирішуватися на рівні розподільної мережі [10]. Більшості великих споживачів необхідно підтримувати вхідну напругу на певному рівні. Це пояснюється тим, що інші стандарти (формат напруги та частота) мають значний вплив на втрати енергії в лініях електропередач та обладнанні підстанцій, а енергопостачальні організації зацікавлені в їх зниженні.

Залежно від того, як використовується регульоване джерело живлення, існують різні системи автоматичного регулювання напруги [11]. Однак важливо враховувати, чому напруга відхиляється від номінального значення, оскільки більшість передових систем розроблені для корекції відхилення. Комплексне вирішення проблем регулювання напруги (внаслідок відхилень і різного роду несправностей) дозволяє підвищити надійність джерел живлення та обладнання розподільних мереж і підстанцій.

Основним порушенням, яке викликає відхилення в електромережі та вхідній напрузі споживача, є зміна стану енергетичного обладнання (активний, реактивний, повний). Все це досягається шляхом зміни способу розподілу на підстанції, що запобігає відхиленню напруги в кінці ЛЕП [26].

Ці результати в основному відображають реактивну потужність. Вони намагаються досягти економічно відповідних значень, використовуючи компенсатори для ліній реактивної потужності. Задані значення реактивного споживання користувача дозволяють розрахувати потужність компенсатора або іншого реактивного джерела, необхідного для вирішення складних задач регулювання напруги.

Наразі в РТЕК планують оновити обладнання, але це призведе до значного зносу та збільшення енергоспоживання. Однак, якщо кошти обмежені, людські ресурси повинні використовуватися на оптимальному рівні для обслуговування та обслуговування персоналу та роботи з електрообладнанням.

Відповідно, необхідно реформувати розподільчу мережу, запровадити технологію регулювання напруги та більш прогресивні методи регулювання напруги. Основними засобами регулювання напруги в розподільній мережі є регулятори навантаження (перемикачі навантаження) і трансформатори струму (з обмеженим ресурсом за кількістю контактів). У зв'язку з необхідністю зміни робочого струму механічний відвод РПН трансформатора струму подає порівняно невеликий струм. Через складне технічне обслуговування, пов'язане з ремонтом та відключеннями перемикачів РПН, оператори підстанцій не замінюють відгалуження трансформаторів так часто, як мали б. Це істотно знижує якість напруги і збільшує втрати в неякісних блоках живлення. Щоб покращити енергосистему напруги та подовжити термін їх служби, слід уникати непотрібних перемикань через відхилення напруги, спричинені складними умовами навантаження, безперервно швидкими змінами втрат активної та реактивної потужності та змінами потужності, характерними для обладнання. . Реактивна потужність. Електроенергетична система, яка використовує додаткові методи регулювання напруги та струму (основні чинники встановлення рівнів напруги в енергосистемі).

Однією з причин відхилення вхідної напруги споживача є відповідна зміна стану енергосистеми за характеристиками навантаження та реактивною потужністю. Окрім впливу на рівень вхідної напруги користувача, важливо

пам'ятати, що додаткова споживана реактивна потужність нараховується відповідно до затвердженого методу та бази, а через відсутність або дефіцит реактивної потужності стягуватимуться додаткові витрати. сила. визначено. життєва сила. Це означає енергетичну компенсацію. Ефективним способом керування системою електропостачання за допомогою струму є використання батарей конденсаторів, ємнісних тиристорних компенсаторів [11], але інтеграція та автоматизація керування РПН є дуже складними. Наприклад, батареї конденсаторів на підстанціях, але в більшості випадків ці правила розглядаються і застосовуються індивідуально. Крім того, оскільки батарея конденсаторів підключена паралельно як компенсатор (установка бічної компенсації), компенсатор потребує певної надлишкової потужності для компенсації у великому діапазоні, що призводить до відповідних додаткових витрат. Послідовна компенсація за допомогою конденсаторних батарей лише зменшує реактивні втрати і не змінює споживання реактивної потужності енергосистеми.

Тому з технічної точки зору мова йде про розробку електротехнічних комплексів регулювання напруги (особливо з мікропроцесорними системами керування) при створенні задовільних умов для системи електропостачання за реактивною потужністю. Це важливо. Він призначений для зменшення втрат енергії та підвищення якості, одночасно забезпечуючи гнучкість для економічно ефективного вирішення проблем.

*Об'єкт дослідження* - процес регулювання напруги і струму здійснюється за допомогою трансформаторного комплексу струму, що включає поперечний регулюючий трансформатор (ПТР) і пристрій РПН.

*Предмет дослідження* - трансформатор має систему автоматичного регулювання, яка регулює напругу при поздовжніх і поперечних навантаженнях.

*Мета і завдання дослідження* - Удосконалити систему автоматичного керування трансформатором, регулювати навантаження вертикальних і горизонтальних напруг, підвищити якість і надійність електропостачання.

*Методи дослідження.* Теорія автоматичного керування, методи аналізу та розробки математичних моделей систем горизонтального та вертикального

регулювання напруги, теорія кінцевих автоматів для синтезу структур регулятора, створення керуючих програм для мікропроцесорних контролерів, алгебра логіки. Мінімізація рівняння неперервності, теорія ймовірностей та чисельні методи розв'язування задач.

# 1 ОГЛЯД ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

## 1.1 Системи електропостачання для компенсації реактивної потужності

Регулятори напруги з використанням підвищувального трансформатора (VDT) показана на рисунку 1.1 [45].

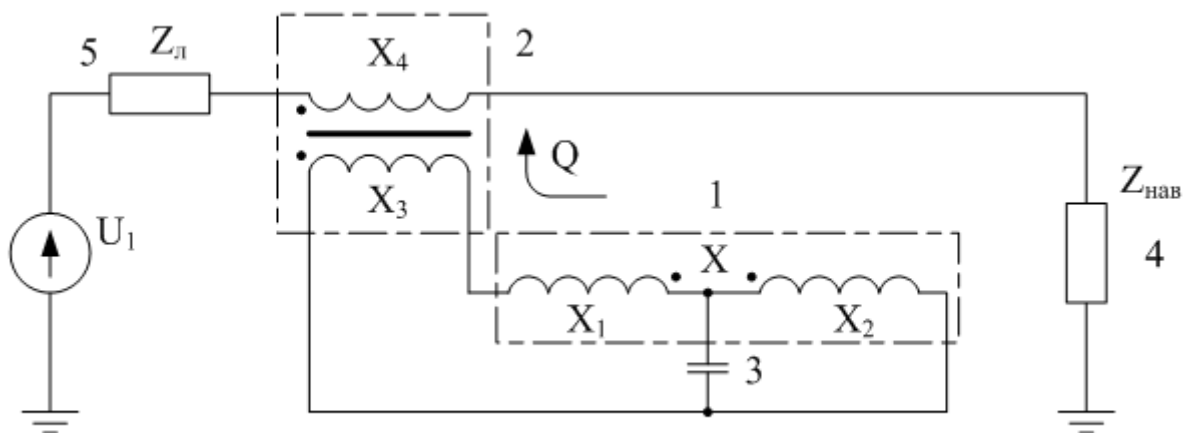


**Рисунок 1.1 - Регулятор напруги і реактивної потужності.**

### **Функціональна схема**

Він підходить для систем розподілу електроенергії для компенсації коливань напруги, викликаних коливаннями навантаження, і регулювання напруги в мережі живлення. Пристрій працює шляхом зміни еквівалентного опору первинної обмотки трансформатора реактора (2) шляхом регулювання струму у вторинній обмотці за допомогою регулятора потенціалу (1).

При зміні кута магнітного з'єднання первинної та вторинної обмоток регулятора напруги (1) відповідно змінюється сила струму у вторинній обмотці реактора трансформатора та опір первинної обмотки трансформатора (2). змінити. Трансформаторний реактор(2). Цей пристрій не допускає зворотного регулювання напруги навантаження і виникають значні втрати в первинній обмотці трансформатора реактора x 4.

Пристрій також використовується для комплексного контролю стану енергосистеми, описаного в [13], і може контролювати перетоки активної та реактивної потужності. На рисунку 1.2. показано конфігурацію пристрою, розглянутого в [13].

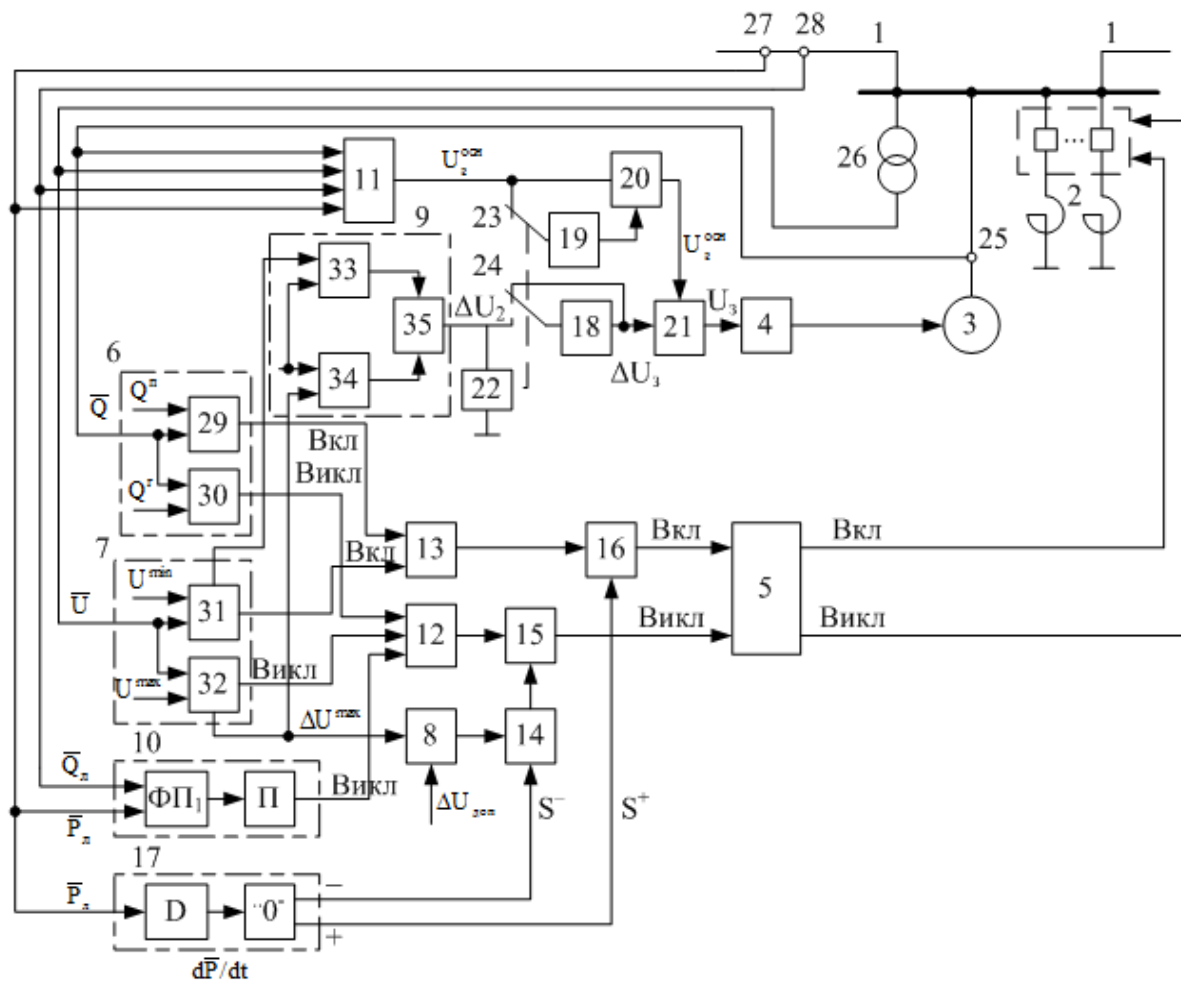


**Рисунок 1.2 - Регулятор режиму підстанції**  
**Функціональна схема**

Схема керування реактором 5 складається з блоків комутації реактора 6 і 7, блоку компаратора 8, блоку компонування запам'ятовуючих елементів 9, функціональних перетворювачів 10 і 11, логічних елементів АБО 12 і 13 і І від 14 до 16, а також схеми підсилювача навантаження. Дисплей одиниці. Як показано на малюнку 17, вбудований пропорційний пристрій 18, накопичувальний елемент 19, обмежувач 20, колектор 21, реле 22 з контактами 23 і 24, датчик навантаження 25 для джерела реактивної

потужності (DRP), вимірювальний прилад, трансформатор 26 і активний і активний електричні двигуни 27 і 28 відповідно. Датчики реактивної потужності в лінії.

На вхід блоку (17) подається середнє значення активної потужності ЛЕП  $\bar{P}$ . На виході цього блоку формується сигнал, який надходить на входи логічних елементів I16 і I14 і скасовує команди відкриття і закриття реактора, створені блоками комутації 6, 7 і функціональними реакторами. Тому проводиться необхідне відключення та ізоляція ЛЕП 1 для забезпечення селективності каналу підключення, щоб уникнути роботи реактора при збільшенні навантаження в період відпочинку. Це включає в себе блоки 4, 9, 11, 18-21, які складаються з блоків 10, 12-16 каналу управління DRP3. Функціональний перетворювач (11) перетворює сигнали від датчиків (25, 27, 28) і перетворювача (26) в сигнали  $U_{\text{зад}}$ , які є основними значеннями параметрів входу (4) автоматичного регулятора напруги. перед входом у функцію. Блок координує та контролює як реактор (окрему машину), так і DRP (безперервно керовану машину).

Метод контролю стану трансформатора, розроблений у [43], відрізняється від попередніх тим, що в каналі вимірювання відсутні похідні активної та реактивної потужності. Загальним недоліком цих пристроїв є наявність багатьох прикладних компонентів, що ускладнює обслуговування всієї системи контролю стану підстанції, збільшує вартість системи та знижує надійність каналу виконання команд пристрою.

### **1.2 Замкнені мережі систем електропостачання з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги**

Для струмообмежувальних систем використовується пристрій, розроблений у [28]. Конфігурація пристрою показана на рисунку 1.3. Пристрій складається з каналів управління трансформаторами зв'язку 1 і 2, елемента регулювання струму мережі 3, регулятора напруги 4, трансформатора струму 5 і перемикачів фаз трансформаторів зв'язку 6-9.

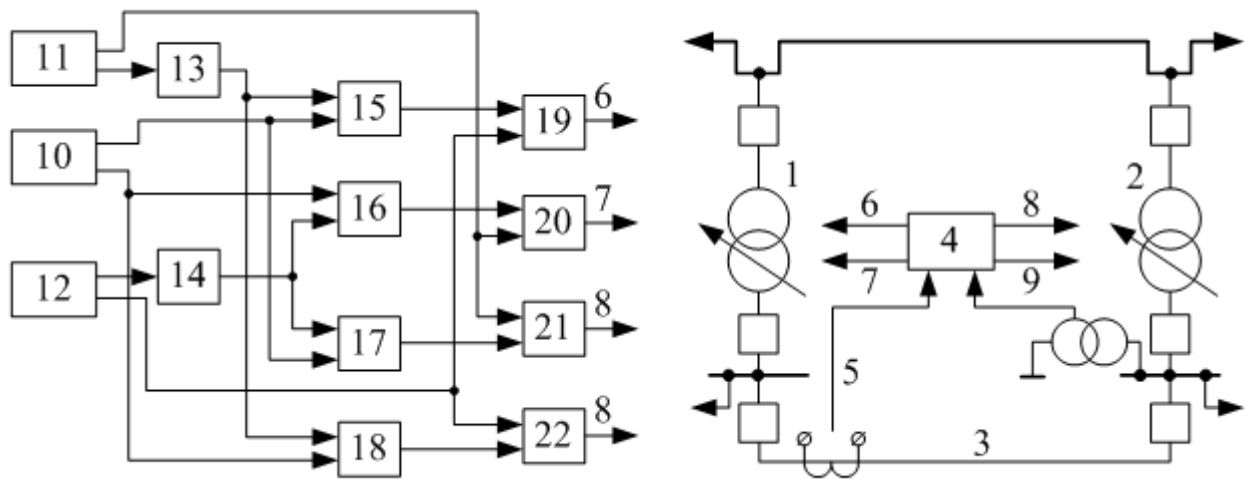


**Рисунок 1.3. - Пристрій регулювання режиму роботи  
телекомунікаційного трансформатора  
Функціональна схема**

Регулятор 4 складається з головного регулятора напруги 10, обмежувача струму 11 в мережі від трансформатора 1 до трансформатора 2, обмежувача струму 12 у зворотному напрямку та логічних елементів 1, 13 і 14 і логічних елементів 15-18. 19-22.

Якщо необхідно збільшити напругу на шині трансформатора зв'язку, а струм лінії керування знаходиться в допустимих межах, подати команду перемикачів РПН трансформаторів зв'язку 1 і 2 по вертикалі. Коефіцієнт посилення напруги збільшується через тракт регулятора. Коли потрібно збільшити напругу і поточна ситуація змінюється, регулятор просто змінює плече трансформатора 2.

При перевищенні струму в мережі граничних параметрів відвод навантаження вищевказаного регулятора здійснює пряме перемикання навіть при виникненні короткочасної перевантаження по струму. Це прискорює знос крокового механізму і знижує надійність системи управління.

Пристрої поздовжнього та поперечного розтягування розроблені в [28, 43, 47]. Функціональна блок-схема пристрою наведена на рисунку 1.4.

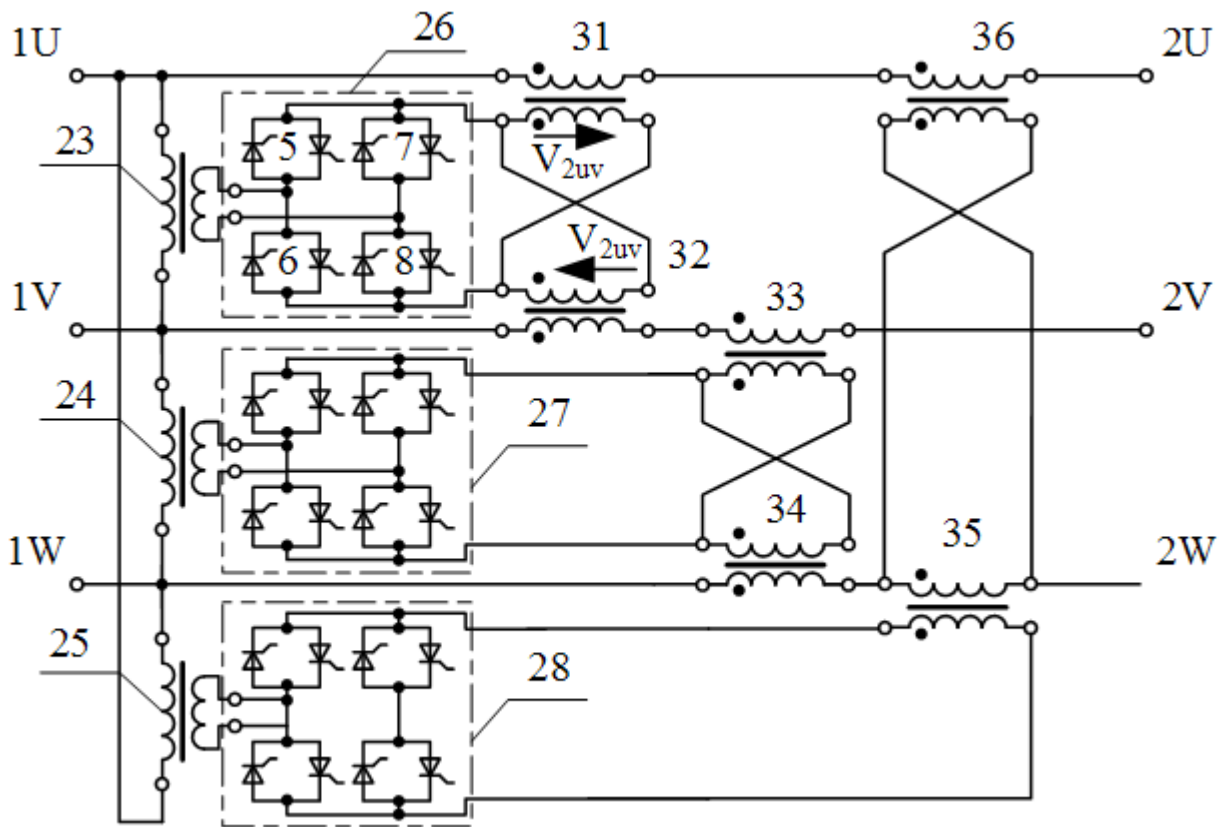


**Рисунок 1.4. - Вертикальний та горизонтальний пристрій  
регулювання напруги  
Функціональна схема**

До них відносяться регулюючі трансформатори 23-25, комутаційні схеми 26-28 і ВДТ три пари 31-36. Ланцюги перемикання вентилів 5-8 формують сигнали, які змінюють регулюючу напругу відповідно до вихідної напруги трансформатора. Ці пристрої мають різну схемотехніку. Наявність тиристорних контактів робить систему керування чутливою до напруги, а керування VDT здійснює керування відповідно до зміни напруги навантаження без урахування втрат і реактивної потужності, що призведе до зниження динамічних характеристик системи керування. . Вплив на певний пристрій спочатку змінює ці налаштування.

Це найважливіший метод регулювання напруги в розподільній мережі енергосистеми, який може задовольнити вимоги до напруги для користувачів на короткій і міжміській відстані [13, 43, 45]. Трансформатори можна підключати до різних точок мережі, але стан напруги часто невідомий

заздалегідь і може змінюватися під час роботи мережі. Отже, крім основного трансформатора, у нас є ще регулююча ділянка. Зміна цих гілок може трохи змінити коефіцієнт перерахунку (в межах 10-20%).

Зазвичай регульовані відводи використовуються на стороні високої напруги високовольтних трансформаторів з меншими робочими струмами. У той же час комутаційний механізм також був спрощений. Інший спосіб регулювання напруги - використання ВДТ. Останній, в залежності від схеми комутації, дозволяє включати додаткові поздовжні, поперечні або поперечні електрорушійні сили у вектор напруги мережі, що не тільки підвищує рівень напруги, але й регулює потік енергії в замкнутій мережі живлення.

Має вбудований трансформатор або пристрій РПН для поздовжнього регулювання напруги навантаження [28]. Завдяки наявності спеціальних комутаційних апаратів і збільшенню кількості регулюючих гілок і ступенів регулювання використовується регулюючий трансформатор ПБЗ без збудження.

Електрорушійна сила вторинної обмотки врівноважена під кутом 90 градусів до електрорушійної сили первинного трансформатора. TPR - це незалежний трансформатор, що складається з трансформатора струму та послідовного трансформатора. Три основні обмотки живильного трансформатора живляться від двох фаз обмотки низької напруги основного трансформатора. Вторинна обмотка трансформатора струму виконана в сегментній формі і з'єднана з першим виводом первинної обмотки навантаженого послідовного трансформатора через пристрій РПН. Інший кінець первинної обмотки послідовного трансформатора підключається до середньої точки вторинної обмотки трансформатора струму. Вторинна обмотка послідовного трансформатора з'єднана послідовно з нейтральним кінцем обмотки високої напруги первинного трансформатора. Порядок заміни пристрою комутації навантаження такий же, як і основного трансформатора пристрою комутації навантаження [47]. Для регулювання розподілу струму активної потужності в мережі трансформаторного зв'язку використовуються поперечно-регулюючі трансформатори (ПРЕ).

Враховуючи вплив навантаження на обладнання, що використовує трансформатори струму, якість регулювання напруги можна підвищити, перекривши кран регулювання напруги. Пристрій містить три диференціальних блоки 1-3, три тригери 4-6, елементи І 7 і АБО 8, блок регулювання напруги навантаження 9, блок аналізу сигналу 10, блок вимірювання фази 11, телевізійний канал зв'язку 12 і містить 13 блок ділення. Генератор сигналів 14, трансформатор підключення навантаження 15 і вольтметр 16 (рис. 1.5).

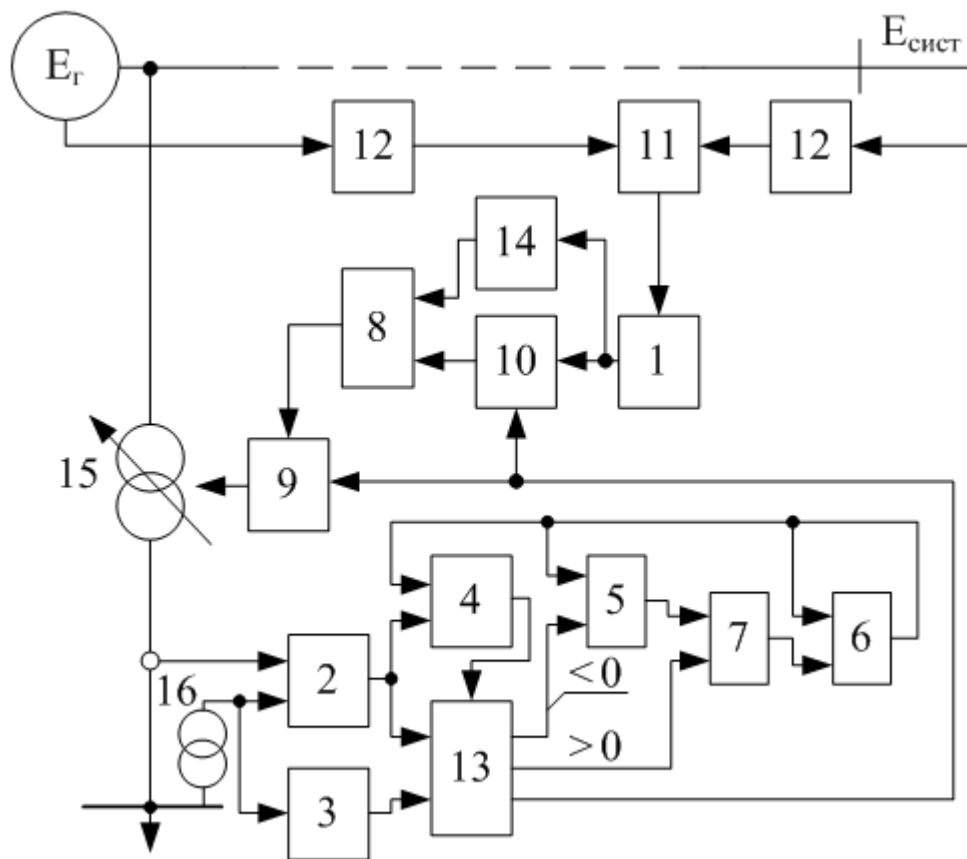


**Рисунок 1.5. - Пристрій, що регулює напругу електричного пристрою за допомогою навантаження двигуна**

### **Функціональна схема**

Перемикання відгалужень трансформатора 15 виконується регулятором навантаження 9 частковими блоками з урахуванням мінімальних втрат активної потужності, що залежить від коефіцієнта навантаження двигуна, що входить в навантажувальну секцію. При цьому контроль стабільності

енергосистеми здійснюється з каналу зв'язку (12) через диференціальний блок (1) і блок вимірювання фази (11). Цей же пристрій впливає на вхід 9 регулятора напруги. Значення параметрів з вимірювань в блоці 11. Запропонований спосіб регулювання напруги враховує залежність потоку активної потужності від величини напруги, але система не має ефективного регулюючого впливу на обидва потоки потужності. Цей метод регулює активну потужність і реактивну потужність простим регулюванням коефіцієнта трансформації трансформатора струму.

Цей відомий пристрій для балансування змінної напруги також використовується в міських електромережах і має елементи застосування, виконані у вигляді ВДТ. Конфігурація пристрою показана на рисунку. 1.6.

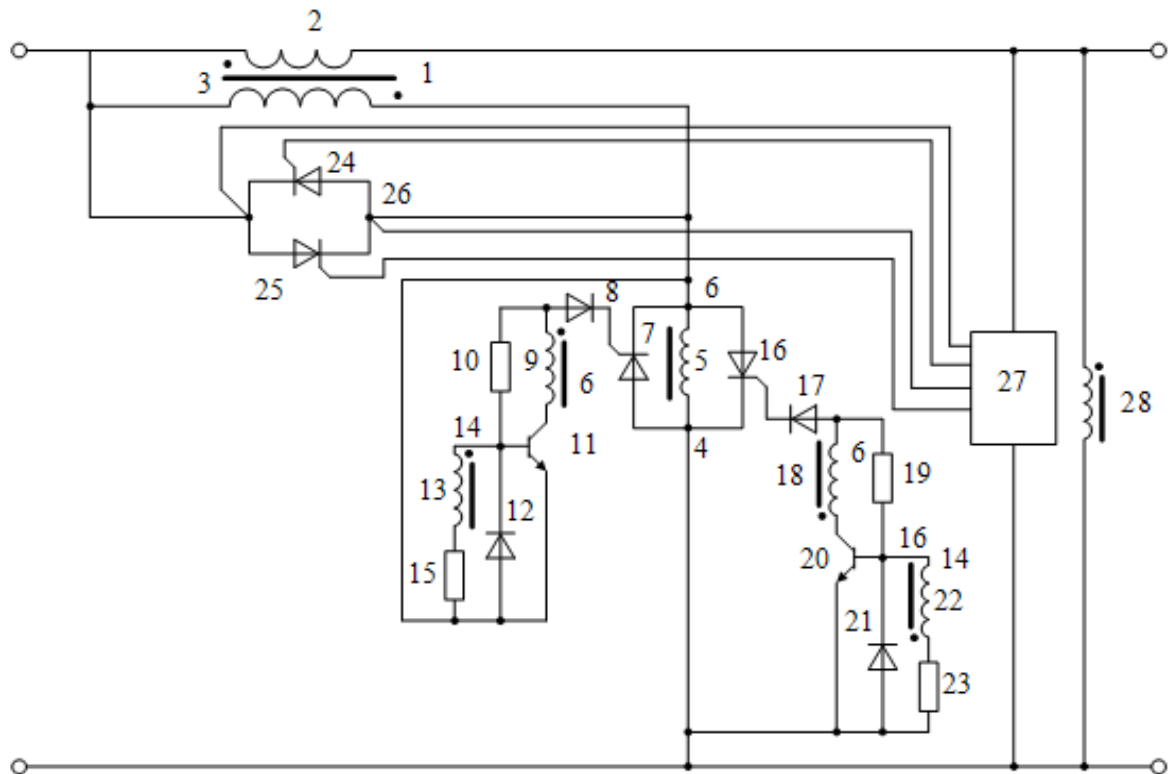


**Рисунок 1.6. - Регулятор змінної напруги**  
**Функціональна схема**

Якщо вихідна напруга пристрою має значення між номінальним значенням і максимально допустимим значенням, тиристори контактів 26 розмикаються по черзі з кутом розмикання, який залежить від величини

відхилення напруги. При номінальних значеннях форма напруги нагадує ступінчасту синусоїду, але які основні недоліки такого пристрою? Це тому, що він є джерелом гармонік, які перетворюються безпосередньо в джерело живлення.

На рисунку: 1 – ВДТ з двома вторинними і трьома первинними обмотками, 4, 26 – перший і другий тиристорний вимикач, 6, 14 – перший і другий синхронні трансформатори, 7, 16, 24, 25 – тиристор, 8, 17 – захисний діод, 10, 19 – захисний резистор, 12, 21 – струмообмежувальний діод, 15, 23 – струмообмежувальний резистор, 27 – блок керування, 28 – первинна обмотка другого синхронного трансформатора, якщо значення напруги перевищує задане значення, контакт №4 розмикається, контакт №26 замикається, а вхідна напруга подається на первинну обмотку VDT1, викликаючи падіння напруги. Як показано, тиристорний перемикач (4) закритий, а первинна обмотка VDT (3) замкнута перемикачем (26), керованим блоком управління (27).

### **1.3 Системи електропостачання для контролю**

Показано, як керувати режимом передачі струму за допомогою підвищувального автотрансформатора. Функціональна схема цих пристроїв представлена на рисунку 1.7.

Автотрансформатор зв'язку 1, лінійний трансформатор (ЛТ) з обмоткою збудження 4 і вторинною обмоткою 3 2, перемикач автотрансформатора 5, додаткові перемикачі 6 - 9 і вище. Він складається з шини даних на передавальному кінці лінії передачі. Як показано на рисунку 10, він має носій 11, приймальну кінцеву шину 12, пристрій комутації лінії 13, регулятор напруги повітряної лінії 14, датчик напруги 15, датчик струму (16) і пульт дистанційного керування.

Канал управління 17. При зарядці автотрансформатора трансмісії для зміни напруги в мережі використовується створений на основі параметрів навантаження діапазон регулювання відводу.

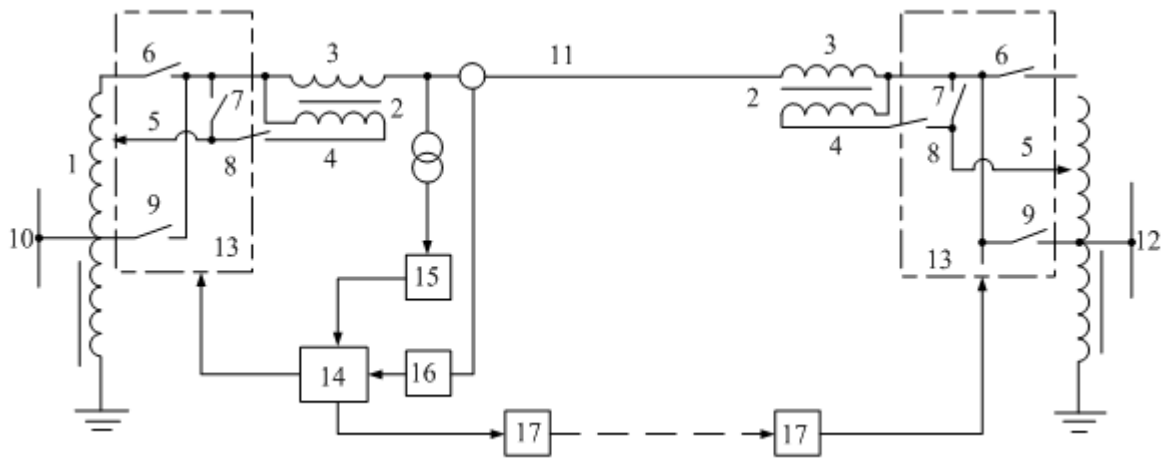


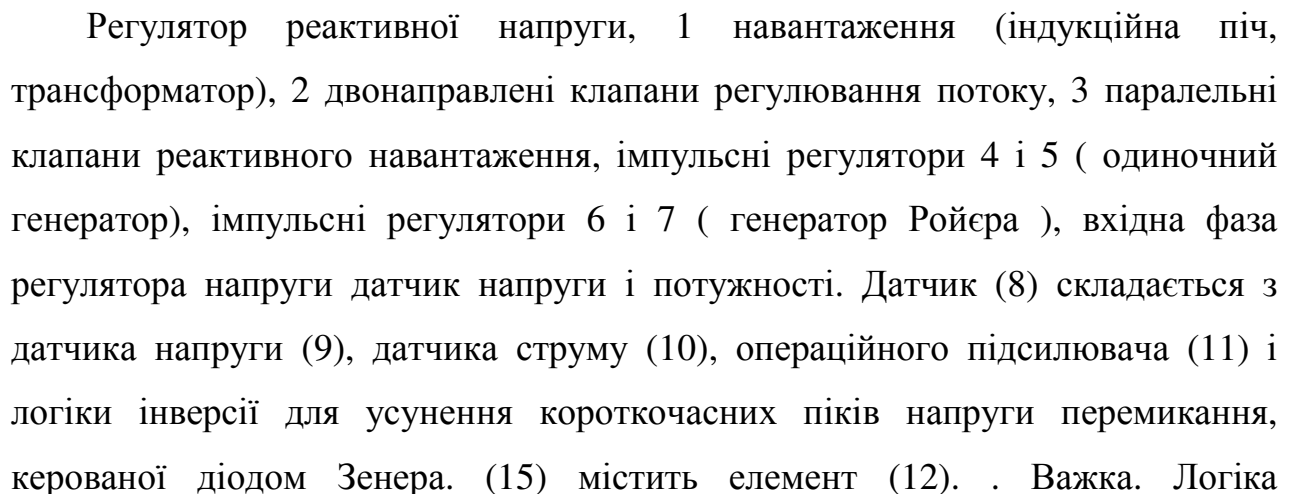
**Рисунок 1.7. - Пристрій, який керує поточним режимом передачі**  
**Функціональна схема**

Регулювання сили намагніченості трансформатора. Зміна намагніченості трансформатора здійснюється зміною гілки трансформатора, яка змінює кінці обмотки керування. Діапазон регулювання перемикача РПН використовується двічі для зміни коефіцієнта трансформації автотрансформатора і для регулювання інтенсивності намагнічування трансформатора.

Причиною прискореного зносу є відсутність обмежень на заміну РПН в автотрансформаторах тиску.

Розроблений у [14] метод регулювання напруги в лінії електропередач передбачає встановлення балансу між втратами потужності в лінії електропередачі до та після перемикання. Залежно від застосування цього методу, втрати залишкової енергії в лінії, тобто залишкові втрати, які виникають до та після кожного падіння та підвищення напруги, визначаються фактичним активним опором лінії. Терміни розраховані. Це визначається шляхом розрахунку фактичного активного опору лінії після зміни напруги. Блоки пам'яті пристрою, що реалізує цей метод, мають постійний коефіцієнт масштабування, який представляє зміну втрат потужності через термічні та коронні втрати при зміні напруги на  $n\%$ , залежно від ступеня регулювання напруги. Збережено. . регулятор. одиниця. Використання цих пристроїв обмежується лише повітряними лініями.

Регулятор реактивної напруги, 1 навантаження (індукційна піч, трансформатор), 2 двонаправлені клапани регулювання потоку, 3 паралельні клапани реактивного навантаження, імпульсні регулятори 4 і 5 ( одиночний генератор), імпульсні регулятори 6 і 7 ( генератор Ройєра ), вхідна фаза регулятора напруги датчик напруги і потужності. Датчик (8) складається з датчика напруги (9), датчика струму (10), операційного підсилювача (11) і логіки інверсії для усунення короточасних піків напруги перемикавання, керованої діодом Зенера. (15) містить елемент (12). . Важка. Логіка



### Функціональна схема

Регулятор реактивної напруги, 1 навантаження (індукційна піч, трансформатор), 2 двонаправлені клапани регулювання потоку, 3 паралельні клапани реактивного навантаження, імпульсні регулятори 4 і 5 ( одиночний генератор), імпульсні регулятори 6 і 7 ( генератор Ройєра ), вхідна фаза регулятора напруги датчик напруги і потужності. Датчик (8) складається з датчика напруги (9), датчика струму (10), операційного підсилювача (11) і логіки інверсії для усунення короточасних піків напруги перемикавання, керованої діодом Зенера. (15) містить елемент (12). . Важка. Логіка

перемикання для клапана 2 і клапана 3, коли напруга і струм мають однаковий знак: якщо клапан 2 відкритий, а клапан 3 закритий і навпаки, тоді клапан 2 закритий, а клапан 3 закритий. Для багатофазних реактивних навантажень з використанням паралельних вентилів (3) реактивний струм ланцюга навантаження та струм реактивної потужності кожної фази змінюються. Недоліком пристрою є те, що його важко використовувати в розподільних мережах через складну конструкцію арматури та утворення гармонік в мережі через заміну арматури.

У літературі [34] запропоновано комплексне вирішення проблеми регулювання реактивної напруги та струму. Пристрій використовується для регулювання напруги навантаження, компенсації реактивної потужності та вирівнювання навантаження в трифазних мережах. Робота пристрою показана на рис. 1.9.

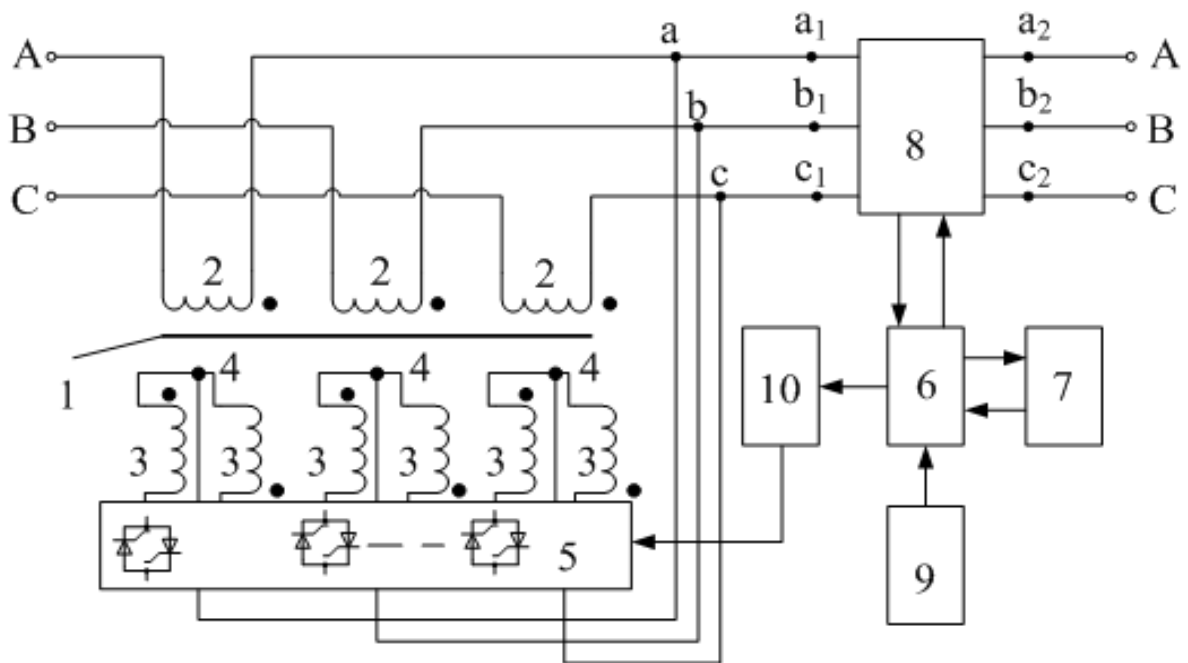


**Рисунок 1.9. - Пристрій стабілізації та регулювання електричних параметрів**

**Функціональна схема**

Пристрій на основі центрального процесора (6) і блоку енергонезалежної пам'яті (7) керує трифазним VDT1 (первинна обмотка 2-VDT, вторинна обмотка 3-VDT). Він також містить пристрій регулювання навантаження датчика фази (8), пристрій керування (9), пристрій вихідного каскаду (10) і тиристорний комутаційний пристрій (5). Центральний процесор (6) організовує роботу всієї системи програмного керування. одиниця. Застосування вищевказаних пристроїв обмежене складною конструкцією тиристорних блоків середньої та середньої напруги. Особливо при використанні в мережах електропередачі тиристори потребують додаткового захисту від перенапруги, що ускладнює систему.

Для регулювання напруги електромережі запропоновано такі пристрої, як кінцеві вентиляльні вимикачі ВДТ [34, 40]. Пристрій має три однофазних ВДТ, кожна послідовна обмотка розділена на дві частини перемикачем (тиристорним перемикачем). Змінюючи комбінацію первинної та вторинної обмоток послідовного трансформатора між фазами напруги мережі, вихідна напруга регулюється в межах діапазону коефіцієнта трансформації останнього. Ці пристрої вимагають великої кількості комутаційних елементів і не враховують впливу напруги живлення на поточний стан системи.

## **1.4 Висновки**

В даному розділі виконано аналіз варіантів регулювання напруги силового трансформатора та розглянено режим лінії електропередачі, де в режимі мережі відсутній зворотний зв'язок за струмом або навантаженням і обмежується глибоке регулювання напруги, щоб підтримувати контроль струму якості електроенергії.

Крім того, традиційні системи регулювання напруги можуть покращити якість напруги за рахунок збільшення кількості напівпровідникових контактів або перемикачів відводів на стороні користувача або підвищити надійність електропостачання шляхом зниження надійності електропостачання. Номінальна напруга обмежує кількість контактів у цих пристроях.

У другому випадку особливо несприятливою є ситуація підвищених відхилень напруги внаслідок зміни реактивного струму споживання, що призводить до тривалих періодів низької якості напруги у споживачів та негативно впливає на параметри енергосистеми.

Проблеми регулювання напруги часто вирішуються самотійно без урахування форми лінії електропередачі. Використання комутаційних пристроїв з тиристорами є перспективним напрямком розвитку систем регулювання напруги, але дуже висока вартість напівпровідників обмежує використання цих пристроїв в апаратах середньої та низької напруги. Він має високовольтні та сильнострумові контакти без ефективного захисту від перенапруги.

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОБУДОВА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ

### 2.1. Дослідження чинників, що впливають на поперечне регулювання напруги при режимі мереж за потужністю

При поздовжньому і поперечному регулюванні напруги на частинах замкнутої енергосистеми (рис. 2.1) коефіцієнти перетворення оцінюються комплексно, і їх значення впливають на розподіл енергії і режим напруги енергосистеми [8].

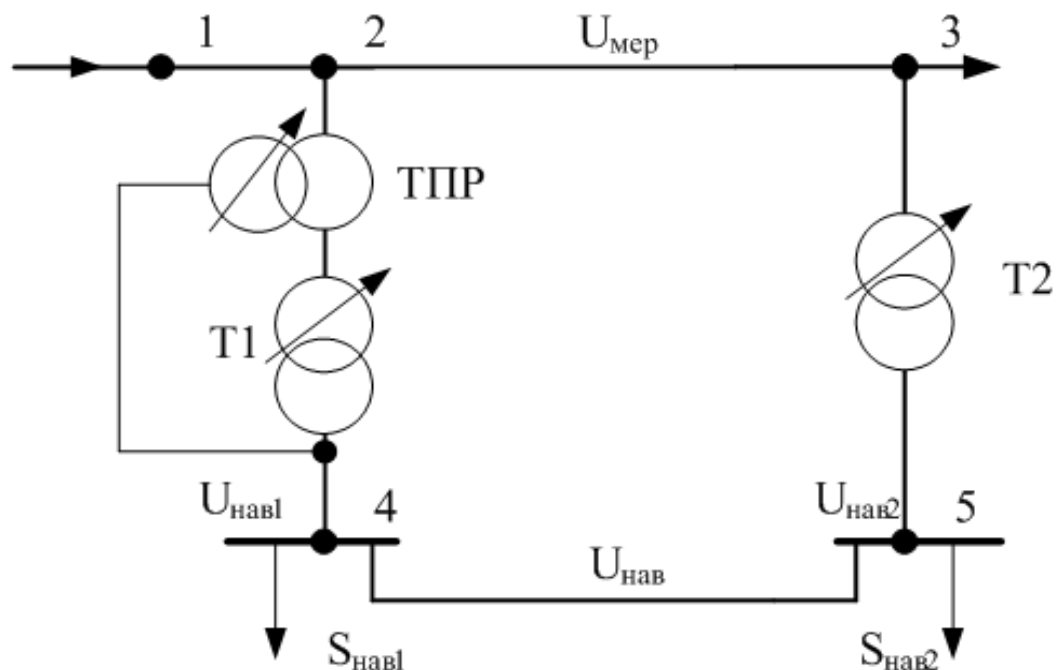


**Рисунок 2.1. - Часткова схема енергосистеми для дослідження ефекту  
бічного регулювання напруги**

Вплив бокового регулювання напруги на розподіл активних і реактивних струмів в енергосистемах ланцюгів з кабельними лініями електропередачі (ЛЕП) з боку низької напруги та повітряними лініями з боку високої напруги.

Залежність сприйнятої активної та реактивної потужності від значення коефіцієнта перетворення TPR (рис. 2.2) відображає вплив бокового регулювання напруги на розподіл потоку енергії .

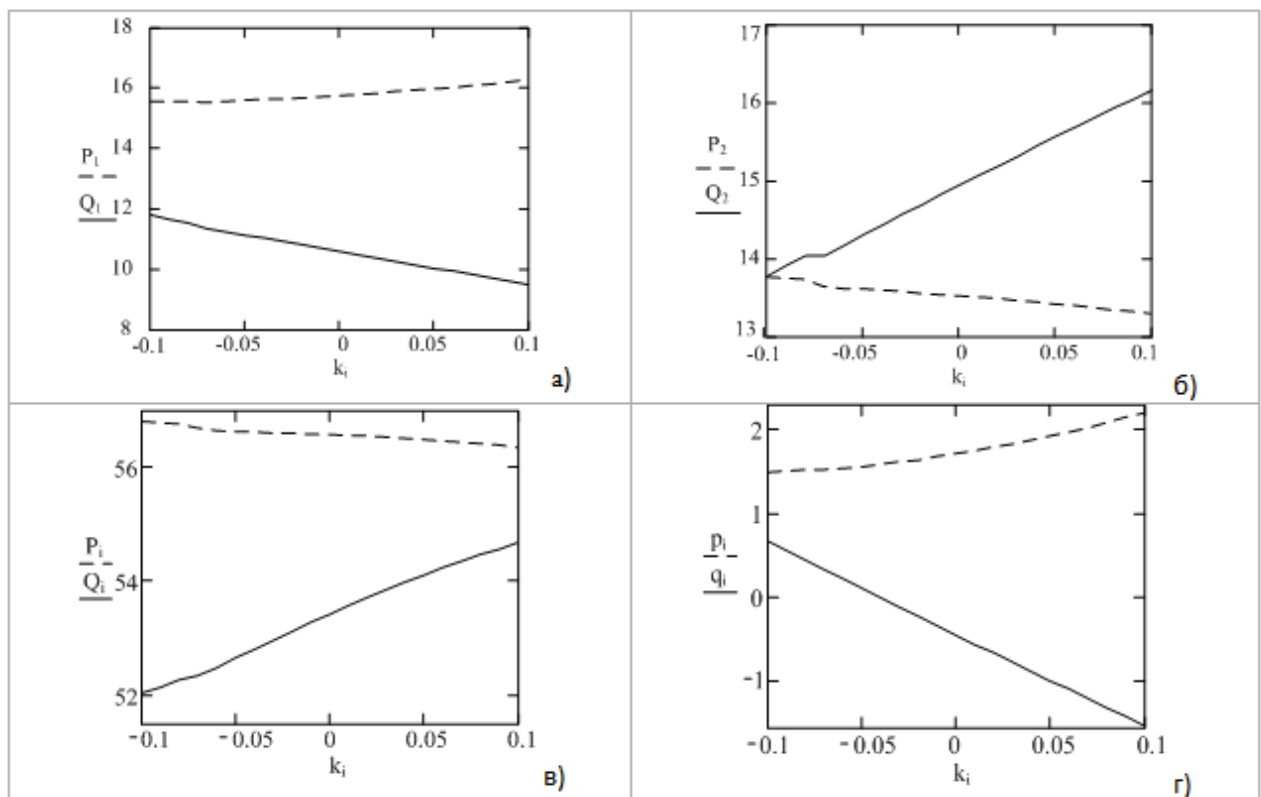


**Рисунок 2.2. - Залежність від струму активної та реактивної потужності (МВт, МВАр) трансформаторів Т1 (а) і Т2 (б) та частини 2-3 (в) Т1 є вищим за неправильний коефіцієнт перетворення від 4 до 5. (г) Низька напруга.**

Відповідно до наведеної залежності (рис. 2.2) встановлено, що збільшення струму реактивної потужності більше збільшення струму активної потужності в усіх розглянутих ділянках енергосистеми.

Пасивно змінна бічна електрорушійна сила при використанні . Геометрична сума векторів лінійної напруги та паралельних ем, прикладених до обмоток високої напруги трансформаторів струму в енергосистемах . (рисунок 2.3). Цей рух змінює амплітуду і фазу струму в первинній обмотці трансформатора відносно напруги живлення, а також напругу і струм у

вторинній обмотці. Для заданого навантаження кут між векторами напруги і струму навантаження і обмоткою низької напруги силового трансформатора визначається відношенням активного і реактивного опору ЛЕП до навантаження.

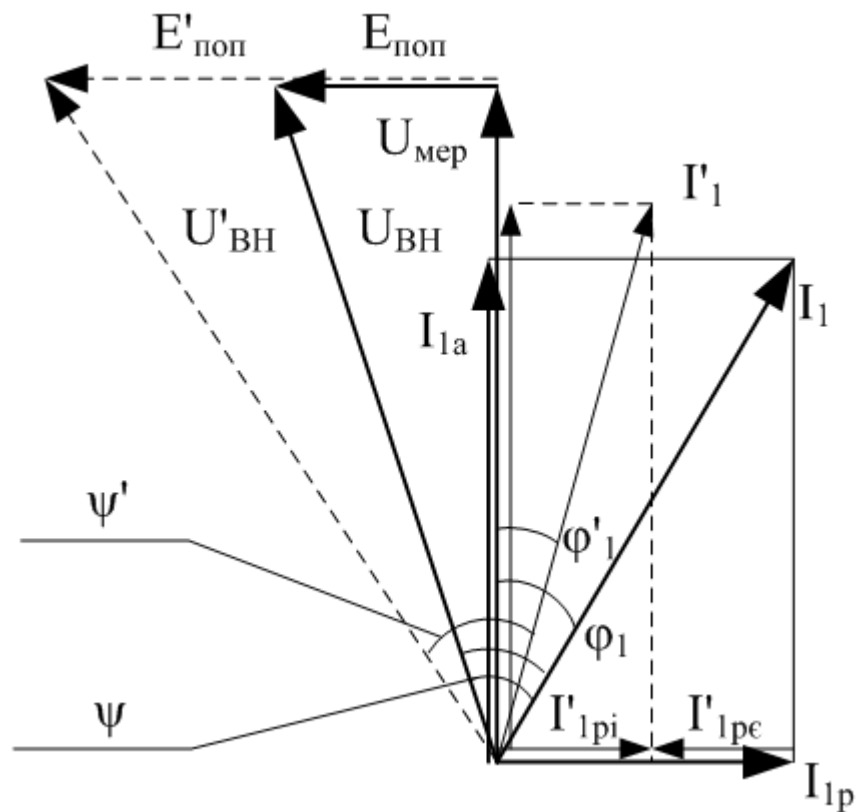


**Рисунок 2.3. - При застосуванні поперечної електрорушійної сили вимірюється зміна кута  $\psi$  між векторами  $I$  і  $U$ .**

Як показано на рис. 2.3:  $\psi$  — Кут зсуву між фазою напруги і струму первинної обмотки трансформатора,  $\psi'$  — Кут зсуву між фазою напруги і струмом мережі).

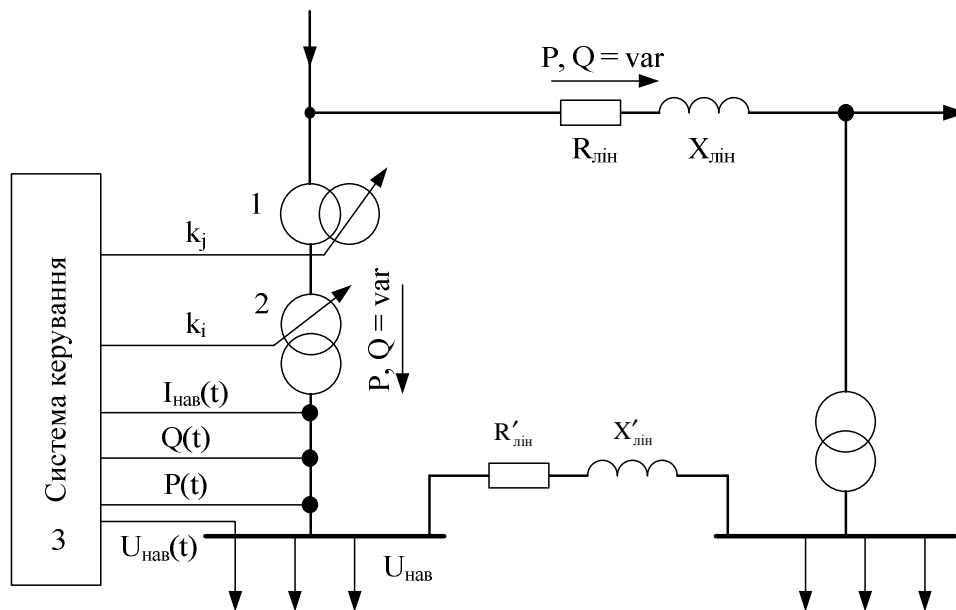
За умови навантаження трансформатора струму, якщо опір ланцюга збудження не враховується, визначається еквівалентний комплексний опір, що відповідає сумі амплітуди струму та фази первинної обмотки трансформатора струму. Це зменшує сумарний опір первинної обмотки, вторинної обмотки, лінії передачі та опір навантаження. Однак струм, споживаний в ланцюзі живлення, проходить через додаткові точки докладання ЕРС, а первинна обмотка трансформатора залишається незмінною. Тому, якщо навантаження є

постійним і додаткова ЕРС прикладена в заданий момент часу, вектор струму в первинній обмотці буде змінюватися відносно вектора напруги мережі, а кут між векторами напруги і струму в обмотці високої напруги буде залишаються по суті незмінними. Тому струм, що споживається з мережі, змінюється відносно вектора напруги мережі під кутом, який визначається величиною адитивної поперечної ЕРС. Перехід струму споживання у вектор напруги мережі відповідає ємнісній складовій струму, яка знаходиться під кутом 90 градусів до вектора напруги мережі (рисунки 2.3). Величина ємнісної складової струму визначається величиною додаткової вхідної електрорушійної сили і пропорційна їй. Використовуючи додаткову електрорушійну силу, ємнісна складова струму мережі входить і відповідно змінює співвідношення активної та реактивної потужності, що протікає в ланцюзі енергосистеми.

## **2.2. Поздовжньо-поперечне регулювання напруги**

На основі врахування ефекту бокового регулювання напруги, для вирішення складних задач регулювання напруги та враховуючи умови системи електропостачання, рекомендується обладнати режим енергосистеми, який використовує два способи регулювання напруги одночасно (за допомогою постійна напруга трансформатора).). Перемикач РПН і ТПР. Структурна схема цього електротехнічного комплексу наведена на рис.1. 2.4.

Оскільки основні регулятори енергосистеми працюють незалежно (наприклад, перемикачі РПН), недостатньо вказати закон регулювання та статичні властивості аналітичної функції на вимірюваному вході регулятора. Найбільш зручним і прийнятним методом визначення регулятивних законів є запропонований у [13]. Цей метод поєднує функції, створені в тілі вимірювання модератора, з логічними умовами, які формують ефект модератора.



**Горизонтальний підвищувальний трансформатор Райс 2.4 і схема живлення трансформатора струму з перемикачем РПН**

Як показано на малюнку. 2.4: 1-Поперечний регулюючий трансформатор (TPR), 2-Трансформатор струму з перемикачем РПН, 3-Система керування).

Загальний закон регулювання напруги за допомогою трансформаторів можна розглядати як «інтермодуляційний» закон. Найбільш повні методи включають метод "регулювання зворотного зв'язку" напруги та ізоляції, який визначає час затримки регулюючої дії, необхідний для запобігання короткочасним помилковим перемиканням пристрою РПН. Ви можете займатися годинами. - Періодичні розлади.

Пристрій заміни відгалуження вторинної обмотки TPR конструктивно такий же, як і перемикач РПН. Таким чином, алгоритм керування подібний до пристрою РПН, але слід враховувати, що розподіл активної та реактивної потужності в енергосистемі лінійно залежить від напруги ( $P$ ) на затискачах TPR.  $(t) \sim u_x(t)$  (згідно з рисунком 2.2). Тому, якщо розглядати TPR як зв'язок окремих електричних комплексів для регулювання поздовжніх і поперечних напружень, то для управління ним найкраще підходить закон (2.1). Тут активна потужність  $P$  і реактивна потужність  $Q$  є контрольованими частинами. Параметри роботи енергосистеми регулюються.

Використання додаткових умов для регулювання реактивної потужності пов'язане з особливими умовами передачі реактивної потужності по лініях електропередачі, що спричиняє значно більші втрати, ніж втрати активної потужності.

При використанні перемикача РПН, обладнаного TPR, для перемикання на високу напругу повинні бути дотримані наступні умови: значення активної потужності менше зазначеного значення та значення реактивної потужності більше зазначеного значення. Завдяки наявності компонента реактивного опору досягається верхня межа чутливої області, і немає тенденції повернутися до чутливої області протягом певного часу  $\tau$ . Він змінює напрямок збільшення напруги на напрямок зменшення (або протилежний напрямок збільшення). Якщо виконуються протилежні умови, пристрій корекції спрацьовує. Коли перемикач РПН навантажений, перехідний стан трансформатора струму можна зручно виразити як (2.2). У цих випадках передбачено зворотне регулювання напруги, що виключає можливість несправного перемикання через короткочасні порушення напруги на вводі споживача.

### **2.3. Обґрунтування вибору математичного апарату**

Моделі скінченних автоматів є незамінним інструментом для вираження поведінки багатьох систем керування на різних об'єктах. Але класичні мови цих операцій ( карти Віча , Карно ) просто непрактичні для опису цих систем, оскільки вони містять багато проміжних станів, які теоретично існують і зводяться під час перетворень. Таким чином, синхронізуючу апаратуру можна легко використати для синтезу структури системи автоматичного регулювання напруги трансформатора струму [34].

Послідовні мови сприяють прямому переходу від опису до впорядкованої структури. Це значно відрізняється від інших мов машинного навчання.

При використанні рядкових сутностей кожен компонент складного логічного виразу записується в такому форматі [34].

$$\phi \vdash \psi, \quad (2.1)$$

де  $\phi$  і  $\psi$  булеві алгебраїчні функції  $m$  і  $n$  змінних відповідно.

Консистентну запис (2.1) можна інтерпретувати так: якщо , то твердження вірне  $\phi$ . Графи виду (2.1) можна використовувати для опису кінцевих автоматів із пам'яттю. Для цього потрібні два типи масивів, що відповідають переходам і функціям кінцевого автомата  $\delta$ :

$$\tilde{x}_{i_1} \dots \tilde{x}_{i_q} \tilde{s}_{i_1} \dots \tilde{s}_{i_r} \vdash \tilde{s}_{j_1} \dots \tilde{s}_{j_r} \quad (2.2)$$

$$\tilde{x}_{i_1} \dots \tilde{x}_{i_q} \tilde{s}_{i_1} \dots \tilde{s}_{i_r} \vdash \tilde{y}_{k_1} \dots \tilde{y}_{k_v} \quad (2.3)$$

де  $q$  — кількість цифр у коді вхідного символу,  $r$  — кількість цифр у коді статусу,  $v$  — кількість цифр у коді вихідного символу, а також —  $\tilde{s}_{i_p}, \tilde{s}_{j_p}$  значення змінної у коді вхідного символу ( $t = 1) \dots q$ ),  $\tilde{s}_{i_p}, \tilde{s}_{j_p}$  значення змінної коду стану ( $p = 1, \dots, r$ ),  $\tilde{y}_{k_w}$  значення змінної коду вихідного символу ( $w = 1, \dots, v$ ); одна зі  $u_{i_s}$  змінних  $\tilde{u}_{i_s} \in \{\tilde{x}_{i_t}, \tilde{s}_{i_p}, \tilde{s}_{j_p}, \tilde{y}_{k_w}\}$  або  $\bar{u}_{i_s}$ .

Умови (2.2) і (2.3) описують появу сигналів на зовнішніх і внутрішніх виходах логічного перетворювача. Якщо в системі керування є елементи із затримкою сигналу, ці елементи можна представити за допомогою логічних функцій [34], визначених наступним рівнянням:

$$\tau = \begin{cases} 0, & t < T \\ 1, & t \geq T \end{cases}, \quad (2.4)$$

Де знаходиться змінна часу?  $\tau$  - поточне значення часу.  $T$  – ліміт часу.

## 2.4. Проведення синтезу структури системи автоматичного регулювання напруги в трансформаторах

Ми використовуємо математику послідовності [34]. Це дозволяє нам створювати короткі вирази та отримувати складні структури безпосередньо з математичних виразів. Позначте вихідні змінні 1 і 2 регулятора. Це відповідає

перехідному сигналу від регулятора до зміни ступеня TPR. Сигнал повинен з'явитися, коли значення реактивної потужності збільшується, а реальне значення потужності зменшується, а перемикання відводів конкретного трансформатора змінюється в напрямку зменшення коефіцієнта трансформації та збільшення амплітуди. Напруга зростає. Як показано на малюнку 2, генерується сигнал реверсу перемикача РПН (TPR). Сигнали повинні складатися з 1 і 2 імпульсів, і кожен сигнал повинен збігатися з імпульсом на відповідному виході регулятора, щоб перемикач РПН змінювався під навантаженням. Важливо відзначити, що архітектура регулятора передбачає наявність тактового генератора (GTI), побудованого на тригері (T1). Генератор формує імпульси тривалістю  $\tau_1$  і перериває  $\tau_2$  між імпульсами (значення тривалості і періоду імпульсів визначаються відповідно коефіцієнтом  $\tau_1$  і затримкою структури регулятора).  $\tau_2$ ).

Перемикання крана навантаження з одного положення в нове положення (наприклад, з  $k_j$  в  $k_j - 1$ ) вимагає часу, який визначається інерцією та послідовністю механічних з'єднань у системі керування. Почніть зі зміни себе. Оскільки параметри енергосистеми змінюються протягом цього періоду, час між синхронізуючими імпульсами має бути збільшено принаймні в 1 раз, щоб гарантувати, що на виході регулятора не генеруються інші команди під час циклу перемикання. перехід. Тому GTI повинен працювати в двох режимах: режимі очікування (нормальний інтервал між імпульсами  $\tau_2$ ) і режимі перемикання (збільшений час між тактовими імпульсами - приблизно  $3 \cdot \tau_2$ ). Тому для визначення періоду обробки даних в імпульсному контролері необхідно використовувати тригер T2, який формує імпульси тривалістю  $\tau_1$  з інтервалом імпульсів  $3 \cdot \tau_2$ . В кінці циклу перемикання контролер отримує сигнал від сенсорного перемикача і завершує перемикання D, після чого повертається до початкового стану S0. Отже, якщо встановлений параметр знаходиться в межах чутливої області ( $u_x(t) \in [u_{nz.x}; u_{vz})$ ), S повертає 0. Змінні відповідають входам контролера.

– L ( Низький ) – Сигнал напруги на вході вимірювання шляху бокового керування нижчий за налаштований діапазон чутливості ( $u_x(t) < u_{nz.x}$ ).

- $\hat{I}$  ( високій ) – Сигнал напруги на вході вимірювання шляху бічного керування перевищує вказаний діапазон чутливості (  $u_x(t) > u_{vz.x}$  ).
- DN – похідна настроюваного параметра менше нуля (  $dQ / dt < 0$  ).
- DR є похідною параметра адаптації відносно нуля.  $dQ / dt > 0$ .
- DZ ( цитата нуль ) – похідна регульованого параметра дорівнює 0,  $dQ / dt = 0$ .
- $\hat{A}$  ( блок ) – Сигнал блокування та зупинки регулятора (результат команди на перемикання у відповідному напрямку, коли РПН знаходиться в крайньому положенні або в аварійному механічному режимі).
- R ( reset ) – сигнал, що відповідає початковому стану регулятора та ГТІ під час роботи.

Під впливом появи вихідного сигналу 1 або 2 відбувається введення тригера, встановлюючи останній у перехідний стан ТЗ. Протягом часу затримки (дорівного  $\tau_2$ ), коли сигнал перемикання залишає чутливу зону, тригери Т4 і Т5 активуються відповідно для запам'ятовування диференціальних знаків регульованих параметрів.

Враховуючи наведений опис, схема роботи ТПР каналу керування регулятора має вигляд, наведений на рисунку 2.5.

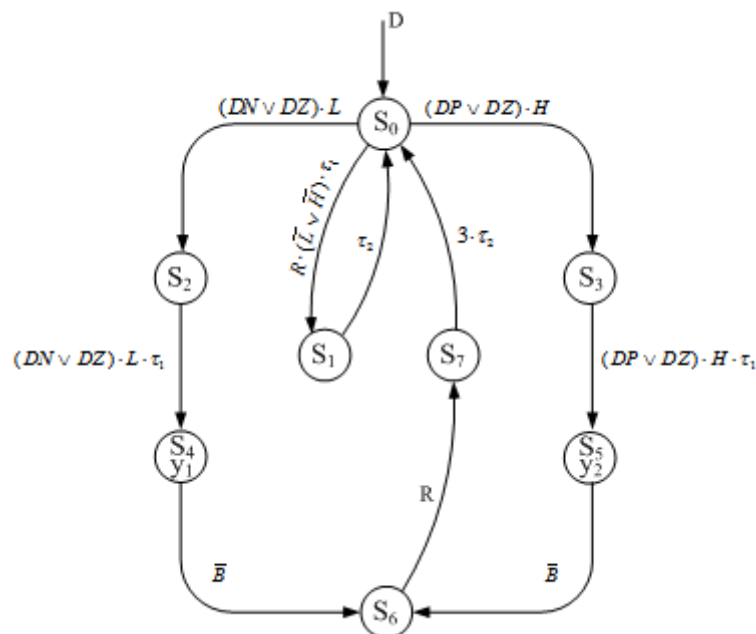


**Рисунок 2.5 - Схема роботи каналу керування боковим регулюванням перемикача РПН трансформатора**

Він представлений у форматі аналітичної нотації з використанням :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{digitalSO} \vdash; & (\text{DP} \vee \text{DZ}) \cdot \text{H} \cdot \text{S}_{0\text{S3}} \vdash; \\ \text{R} \cdot (\bar{\text{L}} \vee \bar{\text{H}}) \tau_1 \cdot \text{S}_{0\text{S1}} \vdash; & (\vdash \text{DP} \vee \text{DZ})_{\text{Ht1S3S5}}; \\ \tau_2 \text{S1S0}; \vdash & \text{Q4} \cdot \bar{\text{B}} \vdash \text{Q6}; \\ (\text{DN} \vee \text{DZ}) \cdot \text{L} \cdot \text{S}_0 \vdash \text{S}_2; & \text{P5} \bar{\text{B}} \vdash \text{Q6}; \\ (\text{DN} \vee \text{DZ}) \cdot \text{L} \cdot \tau_1 \cdot \text{S}_{2\text{S}} \vdash_4; & \text{S6} \cdot \vdash \text{RS7}; \\ \text{S7}, 3, \tau_2 \vdash \text{S0} & \end{array} \right. \quad (2.5)$$

Припустімо, що кожен стан на діаграмі відповідає таким вкладеним станам тригера:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{S0} \in \bar{\text{T}}_1 \bar{\text{T}}_2 \bar{\text{T}}_3 \bar{\text{T}}_4 \bar{\text{T}}_5; & \text{четверта чверть} \in \tilde{\text{T}}_1 \bar{\text{T}}_2 \bar{\text{T}}_3 \bar{\text{T}}_4 \text{T}_5; \\ \text{S1} \in \text{T}_1 \bar{\text{T}}_2 \bar{\text{T}}_3 \bar{\text{T}}_4 \bar{\text{T}}_5; & \text{P5} \in \tilde{\text{T}}_1 \bar{\text{T}}_2 \bar{\text{T}}_3 \text{T}_4 \bar{\text{T}}_5; \\ \text{P2} \in \text{T}_1 \bar{\text{T}}_2 \bar{\text{T}}_3 \bar{\text{T}}_4 \text{T}_5; & \text{шостий клас} \in \tilde{\text{T}}_1 \bar{\text{T}}_2 \text{T}_3 \tilde{\text{T}}_4 \tilde{\text{T}}_5; \\ \text{P3} \in \text{T}_1 \bar{\text{T}}_2 \bar{\text{T}}_3 \text{T}_4 \bar{\text{T}}_5; & \text{Q7} \in \bar{\text{T}}_1 \text{T}_2 \text{T}_3 \tilde{\text{T}}_4 \tilde{\text{T}}_5. \end{array} \right. \quad (2.6)$$

Підставляючи рівняння (2.6) у систему (2.5) і мінімізуючи згідно з [42].  
Результатом є система масивів (2.7).

$$\left\{ \begin{array}{ll} \bar{\text{T}}_3 \text{P} \vdash \text{T}_1; & (\text{DP} \vee \text{DZ}) \cdot \text{H} \cdot \overline{((\text{T}_2 \cdot 3\tau_2) \vee (\text{T}_1 \cdot \tau_2)) \cdot \text{H} \cdot \bar{\text{B}}} \vdash \text{T}_4; \\ \text{T}_1 \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \vdash \bar{\text{T}}_1; & (\text{DN} \vee \text{DZ}) \cdot \text{L} \cdot \overline{((\text{T}_2 \cdot 3\tau_2) \vee (\text{T}_1 \cdot \tau_2)) \cdot \text{L} \cdot \bar{\text{B}}} \vdash \text{T}_5; \\ \text{T}_3 \text{P} \vdash \text{T}_2; & \text{d} \vdash \bar{\text{T}}_3 \bar{\text{T}}_4 \bar{\text{T}}_5; \\ \text{T}_2 \cdot \tau_1, 3, \tau_2 \vdash \bar{\text{T}}_2; & \text{T}_5 \cdot \text{L} \cdot ((\text{T}_2 \cdot 3\tau_2) \vee (\text{T}_1 \cdot \tau_2)) \cdot \bar{\text{B}} \vdash y_1; \\ & \text{T}_4 \cdot \text{H} \cdot ((\text{T}_2 \cdot 3\tau_2) \vee (\text{T}_1 \cdot \tau_2)) \cdot \bar{\text{B}} \vdash y_2; \\ & (\text{T}_5 \cdot \text{L} \cdot ((\text{T}_2 \cdot 3\tau_2) \vee (\text{T}_1 \cdot \tau_2)) \cdot \bar{\text{B}}) \vee (\text{T}_4 \cdot \text{H} \cdot ((\text{T}_2 \cdot 3\tau_2) \vee (\text{T}_1 \cdot \tau_2)) \cdot \bar{\text{B}}) \vdash \text{T}_3. \end{array} \right. \quad (2.7)$$

Мінімізація на основі системи рівнянь неперервності (2.7) .

Першим кроком у синтезі є створення системи функцій, яка реалізує узгоджену систему рівнянь (2.7). Кожен із цих масивів реалізовано у вигляді відповідної схеми з двома фіксованими елементами, до яких підключений вихід системи, а на вхід якого подається сигнал, що відповідає кодовій комбінації в лівій частині масиву. через діодну матрицю. Якщо код стану бістабільного елемента в правій частині масиву не має протилежного знаку, вихід цієї схеми підключається безпосередньо до входу бістабільного елемента. При наявності інверсії в коді стану вихід цієї схеми з'єднується з входом інвертора бістабільного елемента [34].

Як показано на рис. 2.6 наведено функціональну конфігурацію інтегрованої системи регулювання напруги на системі масиву (2.7).

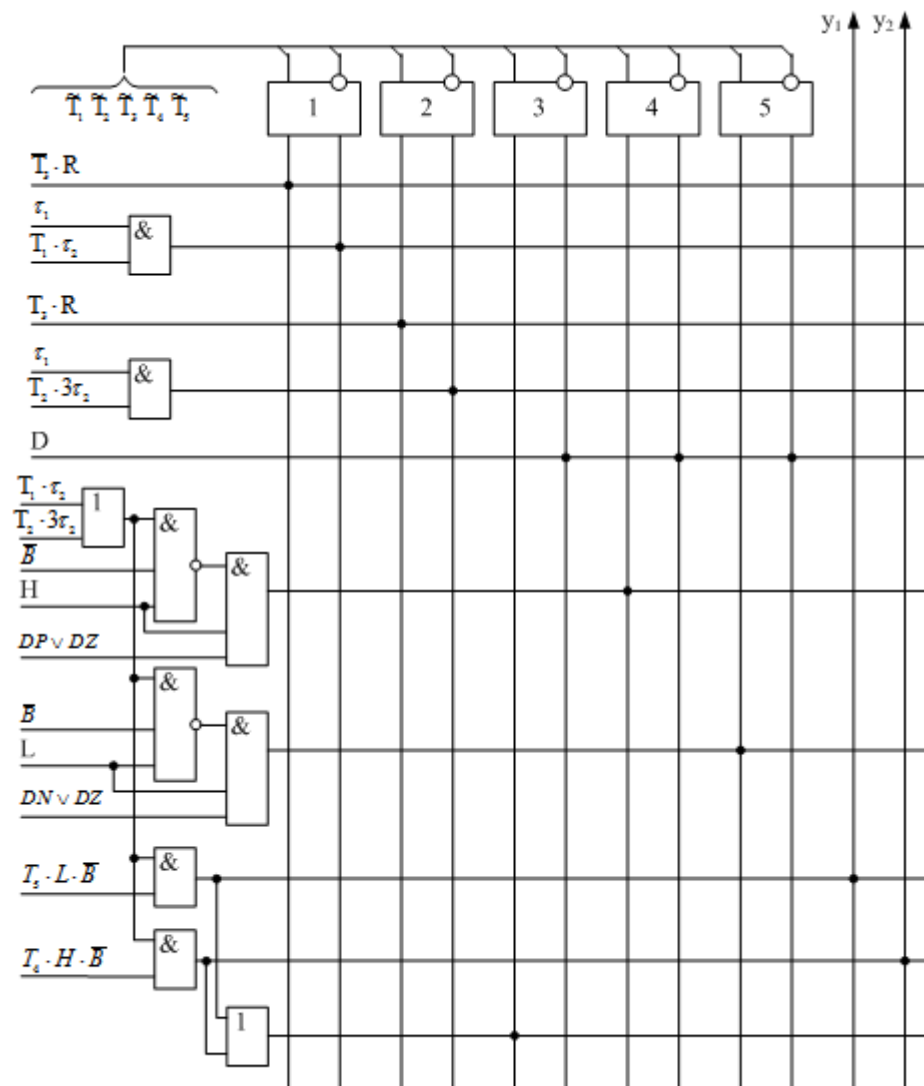


**Рисунок 2.6. - Структурна схема каналу керування на стороні регулятора перемикача РПН трансформатора регулятора напруги**

## **2.5. Висновки**

Перевірено вибір математичного блоку комплексної послідовності структури тракту керування ТПР регулятора системи автоматичного керування трансформатором регулювання поздовжньої та поперечної напруги, що робить можливим автоматизацію проектування конструкції системи регулювання напруги.

### 3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

#### 3.1. Розробка структури регулятора

Струменевий контроль для систем контролю вертикального та горизонтального натягу. Для цього спочатку трансформуємо схему, зображену на рис. 2.6 використовує прямі підключення замість компонентних підключень через діодну матрицю [34]. Остаточна схема перетворення представлена на рис. 3.1.

Булева функція часу  $\tau_{vi} = \overline{1,2}$  замінюється відповідним коефіцієнтом затримки часу. У системі числення (2.10) зв'язок (або) замінюється логічним елементом «І» («АБО») [6, 22, 44]. Результатом є структура каналу керування пристроєм РПН ТРР (див. рис. 2.6).

Діаграма (рис. 3.1):

- 1, 18 – логічний елемент «НЕ»;
- 2, 7, 14, 16, 17, 21, 22, 25 – логічний елемент «І»;
- 3, 8, 13, 20, 24 – асинхронні тригери RS;
- 4, 5, 9, 10 - коефіцієнти затримки сигналу;
- 6, 11, 15, 19 - логічний елемент «АБО»;
- 12, 23 - об'єднання елементів і записів.

Принцип роботи схеми синтезу каналу керування РПН з ТРР в регуляторі напруги наступний. При подачі сигналу запуску регулятора (сигнал R) тригер 3 встановлюється через елемент розмикання I2. Через час  $\tau_{2на}$  виході елемента затримки сигналу 4 з'являється імпульс, і час триває до тих пір, поки активація елемента затримки 5 не досягне входу скидання сигналу 3. При цьому проходить пульс. Введіть I елементи 16 і 21, періодично коригуючи АБО елементом 6. Відкрита ситуація. Припустимо, індуктивне навантаження на шину підстанції в якийсь момент збільшується. Це призводить до генерації сигналу DP (тобто похідна встановленого параметра починає зростати).

Цей сигнал надсилається через елемент АБО (15) на один із входів відкритого елемента I (23).

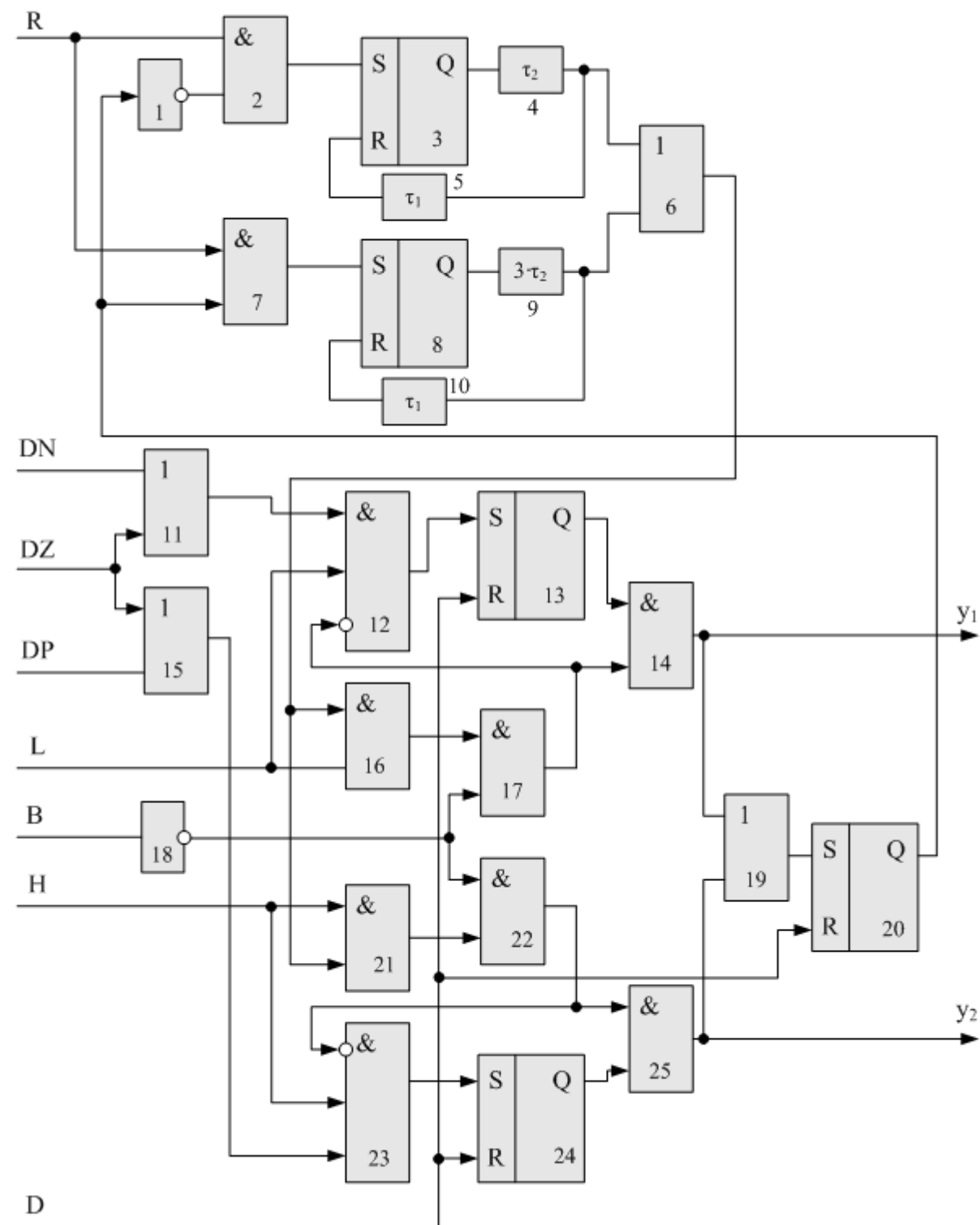


**Рисунок 3.1. - Канал керування перетворювачем навантаження  
регулятора напруги ТПР з урахуванням базису струмового елемента  
Структурна схема**

Коли регульований параметр (потужність) продовжує зростати і досягає значення, більшого за визначене за законом (1), на вході регулятора Н

з'являється сигнал, який проходить через логічний елемент розімкнутого контуру. Блокування імпульсного входу на тригері (24) відбувається після того, як мине час між імпульсом GTIt2 і активацією логічного елемента (22). Останній виконує блокувальні функції. Коли цей сигнал В отримано, він вважається вихідним контуром регулятора. Якщо протягом інтервалу часу між імпульсами GTI настроюваний параметр не повертається до допустимих меж і не повертається (тобто отримане значення залишається більше нуля - це відповідає сигналу DP або (сигналу DZ)), то сигнал є сигнал розмикання Н логічного елемента I 21, а поточний відкритий вихід передається на логічний елемент I 25 через блокуючий елемент I 22. Таким чином, імпульс GTI слідує вказаному шляху, щоб досягти виходу регулятора 2. Вихідний сигнал елемента АБО тригерів 19 на 20 встановлюємо на 2, який включає вихідний підсилювач регулятора і відкриває його на каскад навантаження. Тут останній перериває сигнал і передає його через елемент NOT. 1 Вхід 3 генератора тактових імпульсів - Увімкнуті режим очікування У режимі перемикач подаємо сигнал на тригер 8 генератора тактових імпульсів. (Інтервал між тактовими імпульсами збільшується.) Після завершення перетворення тригери 20 і 24 (або 13) скидаються, а сигнал D подається на вхід регулятора.

На основі цієї діаграми конфігурації (рис. 3.1) створюється остаточна структура регулятора перемикача РПН трансформатора шляхом додавання каналів керування та необхідної аналогової схеми для обробки даних, отриманих від вимірювальних датчиків. Форма схеми стабілізації напруги показана на рис. 3.2.

Це видно з рисунка 3.2:

1-Трансформатор вимірювання напруги системи живлення.

2 - датчик вимірювання струму,

32 - елемент відсутній.

4, 10, 33, 39 - елементи АБО. 5, 9, 13, 24, 25, 26, 34, 38, 42, 52, 54, 55 - І.6, 27, 35, 56 - елементи накопичувального блоку. 7, 36 - Блок визначення диференціальної огинаючої вхідного сигналу. 8, 37 - Довідковий блок похідного символу. 11, 21, 40, 50 - Імпульсні сигнали перетворювача потенціалів. 12, 22, 41, 51 - Блоки затримки. 14, 23, 43, 53 – Відрегулюйте

підсилювач. 15 - Поразка блоку. 16, 45 - Гальмує формування та модифікацію рецептивних полів. 17, 46 - Блоки створення та зміни налаштувань регулятора. 18, 47 – Пороговий блок. 19 – фазовий детектор. 20 - Тригонометричний розрахунковий пристрій.

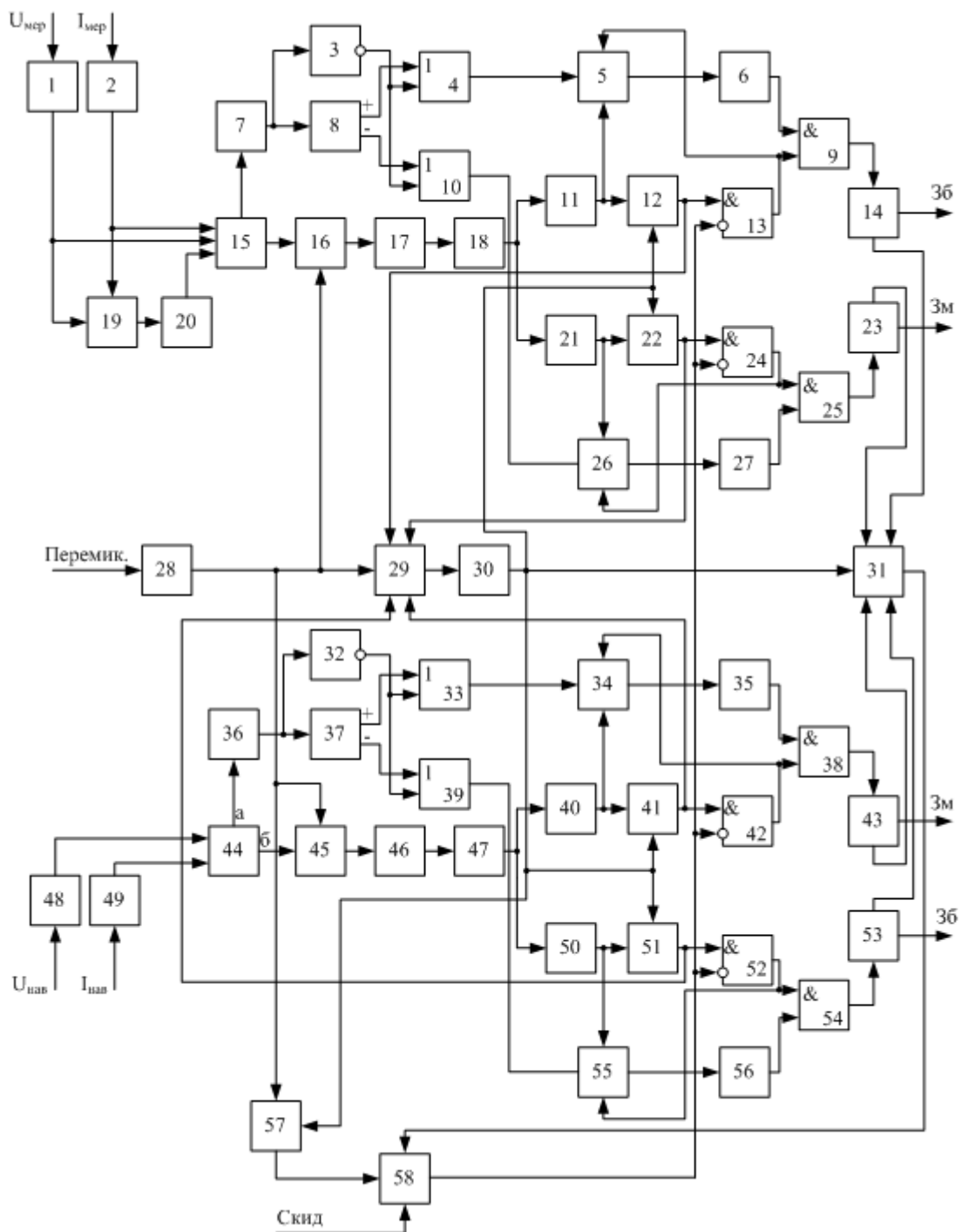


**Рисунок 3.2. - Регулятор вертикальної та горизонтальної системи  
регулювання напруги  
Структурна схема**

### 3.2. Моделювання роботи синтезованого каналу керування трансформатором

Принцип роботи композитного стабілізатора напруги полягає в наступному:

Напруга системи живлення вимірюється за допомогою вимірювального трансформатора 1, через який сигнал (рис. 3.2) подається на другий вхід вихідного пристрою 15 і на другий вхід фазового детектора 19 як опорний сигнал. Струм, що споживається в енергосистемі, вимірюється за допомогою вимірювального трансформатора 2, який складається з вимірювального трансформатора струму і трансформатора, що нормалізує сигнал струму, що подається на вихідний сигнал (рис. 3.2). Цей сигнал надходить на перший вхід блоку помножувача (15) і одночасно сигнал порівняння надходить на перший вхід фазового детектора (19). Вихідний сигнал з фазового детектора (19) надходить на блок обчислення тригонометричних функцій. 20 Синусоїдальне значення  $\psi$  напруги та струму енергосистеми розраховується як напруга, пропорційна куту зсуву фаз (рис. 2). 3.2). У зв'язку з цим миттєве значення реактивного струму в блоці 15 розраховується наступним чином:

$$q(t) = u(t) \cdot i(t) \cdot \sin(\psi(t)) \quad (3.1)$$

де  $q(t)$  – миттєве значення реактивного струму.  $u(t)$  – поточне значення поточної напруги системи.  $\Phi(t)$  – кут зміни фази між напругою та струмом в енергосистемі.

Його вихідний сигнал складається із сигналів з частотою, яка вдвічі перевищує напругу та струм мережі (рис. 3.3г) і постійною складовою, приблизно рівною середньому значенню флуктуаційних складових. Амплітуда цього сигналу залежить від величини струму, що споживається з мережі, і характеристик навантаження (співвідношення активного і реактивного опорів). Певні характеристики навантаження (наприклад, пристрої з високим енергоспоживанням)  $\Phi \rightarrow 0,8$ .

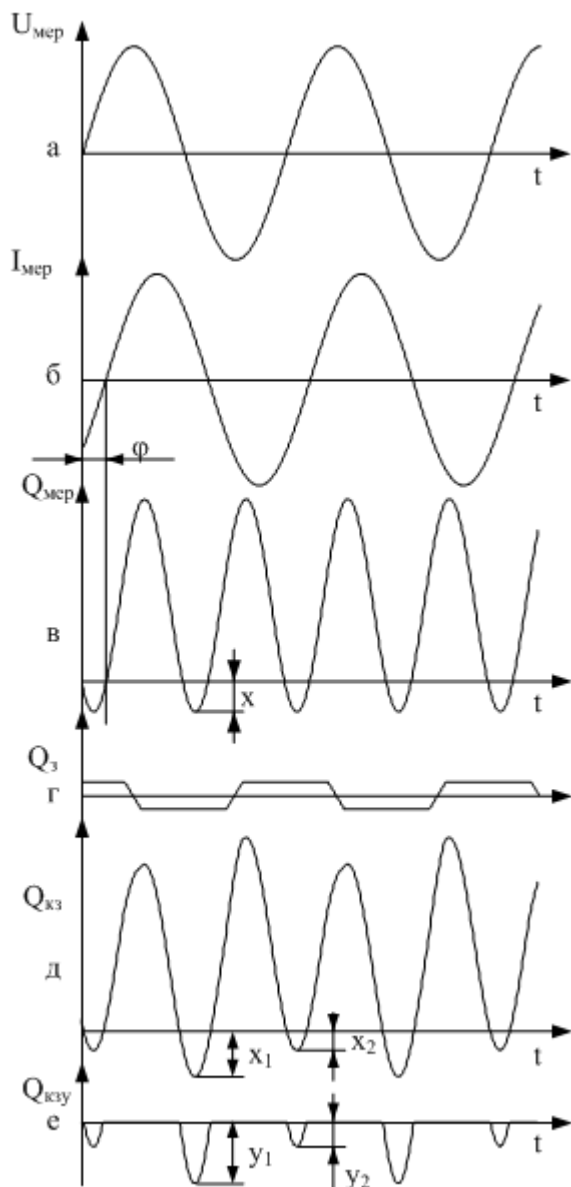


**Рисунок 3.3. Діаграма сигналу каналу вимірювання потужності**

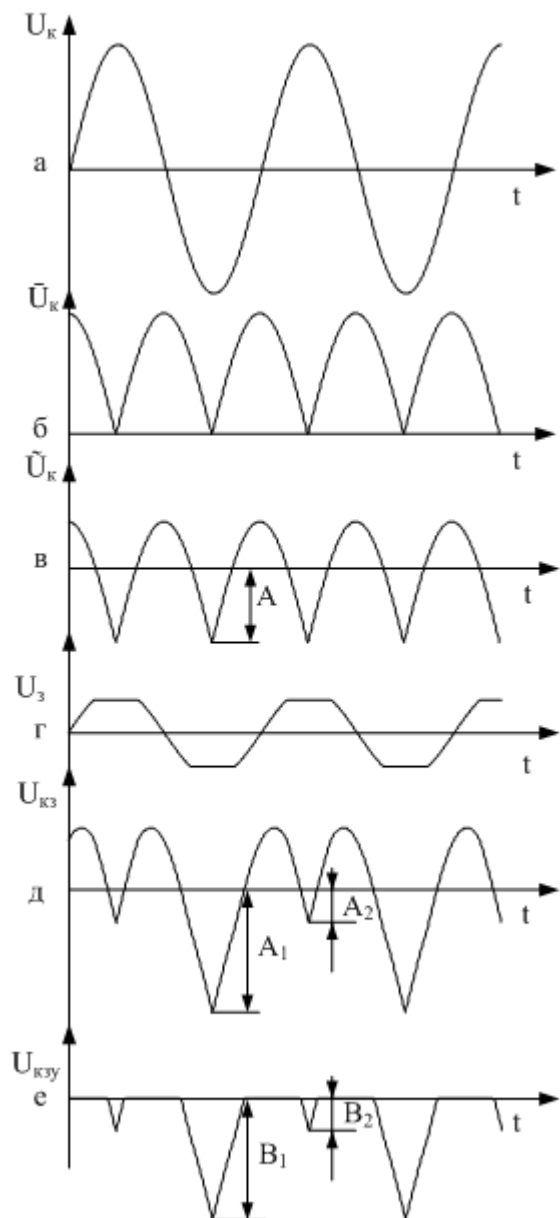


**Рисунок 3.4 Схема сигналу каналу для вимірювання вхідної напруги користувача**

Миттєве значення реактивної потужності зберігає своє положення відносно горизонтальної осі, і залежно від зміни струму змінюється лише амплітуда сигналу та постійна складова на виході помножувача (15). Змінюється постійна складова. Поточні зміни, зміниться. Цей сигнал не є зміною. Якщо змін немає, сигнал активується. Вихід пристрою помножувача вимірюється в  $Q$  (рис. 3.3в). Позначає напрямок зменшення відносно горизонтальної осі внаслідок зменшення постійної складової.

У першому і другому випадках середнє значення реактивної потужності пропорційне амплітуді  $x$  негативного імпульсу сигналу на виході помножувача.

Базовий сигнал  $Q$  модулюється трапецієподібним сигналом  $Q_z$  (рисунк 3.3 д), який визначає значення чутливої області на шляху керування TPR. У цьому каналі визначається чутлива зона, яка є достатньо великою, щоб забезпечити відповідний стан поточної системи, залежно від значення реактивної потужності, що визначає верхню межу для реактивної потужності. Вихід другого блоку області 16 і скоригована чутливість мають сигнал  $Q_{kz}$ . (рис. 3.3 д) різниця амплітуд імпульсів негативної полярності  $\Delta x = x_1 - x_2$  несе інформацію про розташування чутливої зони по каналу вимірювання потоку енергії.

Сигнал з виходу блоку (16)  $Q_{kz}$  надходить на вхід другого блоку, створюючи та змінюючи розподіл реактивної потужності (17), тим самим генеруючи імпульсний сигнал  $Q_{kz}$ . Амплітуда пульсу  $x_1, x_2$  (рис. 3.3д). Він збільшується або зменшується, щоб визначити рівень струму, необхідний в енергосистемі.

Вихід блоку  $Q_{kz}$  (17) надходить на вхід іншого порогового блоку (18), основним компонентом якого є стабілітрон. Використовуйте вказаний поріг запуску ( $Q_{por}$ ). Якщо  $x_1, x_2 < Q_{por}$ , струм, що протікає через стабілітрон, настільки малий, що сигнал на виході порогового блоку (18) відсутній. Коли  $x_1 > Q_{por}$  і  $x_2 < Q_{por}$ , тільки імпульси більшої амплітуди збуджують стабілітрон і виробляють серію імпульсів прямокутної форми з частотою 50 Гц на виході порогового пристрою. Для  $x_1 > Q_{por}$  і  $x_2 > Q_{por}$  стабілітрон збуджується кожним імпульсом сигналу  $Q_{kz}$ , так що вихід порогового блоку містить серію квадратних імпульсів з частотою 100 Гц.

Відсутність пульсуючого сигналу на виході 18-го порогового блоку (незважаючи на згадану вище велику чутливу зону) відповідає низькому рівню перетоку реактивної потужності від мережі до навантаження, що пов'язано з подібною нестабільністю. Напруга збільшується за рахунок струму конденсатора. Поява серії імпульсів з частотою 50 Гц на пороговому виході блоку свідчить про те, що регульований параметр  $Q$  знаходиться в

допустимому діапазоні, визначеному вибраним діапазоном чутливості та параметрами. Якщо на виході порогового модуля з'являється серія імпульсів з частотою 100 Гц, це свідчить про те, що виміряне значення параметра Q перевищує допустиме значення.

Вихід порогового блоку (18) подається на перетворювач потенціалу через входи третього і четвертого імпульсних сигналів (11, 21). Обидва перетворювачі розраховані на прийом імпульсів 50 Гц. На виході відсутній потенційний сигнал. Це відповідає визначенню значень перетоків активної та реактивної потужності в допустимих межах. При передачі на вхід серії імпульсів 100 Гц на виході перетворювача (11) формується сигнал логічного потенціалу (1). Це означає перевищення встановленого ліміту пропускання струму від мережі до навантаження. Вихідний сигнал від перетворювача 11 активує третій блок затримки на каналі 12, який забезпечує команду "підвищення", яка змінює режим навантаження перетворювача трансформатора поперечного регулювання (TPR) і забезпечує додаткову перехресну ЕРС. Коли напруга мережі подається в прямому напрямку на 90°, потенціальний сигнал на виході перетворювача 21 активує затриманий четвертий блок часу каналу 22 для генерації команди «зниження». У цей момент потрібні блоки часової затримки 12 і 22, щоб регулятор не надсилав команди «підвищення» і «пониження» до схеми подачі живлення пристрою TPR, тим самим змінюючи відводи у відповідь на короточасні стрибки напруги. .

Блок затримки часу 12 (або 22), активований третім перетворювачем, перетворює імпульсний сигнал в потенціал 11 (або 21), який активується після певного часу затримки імпульсу і вихідного сигналу генератора тактових імпульсів GTI30. : Відповідає відкриттю 9-го елемента I13 (або 10 елементів перетвореного I24), що призводить до введення 11-го логічного елемента I9 (або). 12. Пункт I 25). Другий вхідний термінал 11-го логічного елемента (19) (або 12-го елемента (125)) підключений до логіки, що зберігається в третьому блоці пам'яті (6) або четвертому блоці пам'яті (27) у вигляді згенерованого потенційного сигналу Сигнал. Знак різниці вкладу огинаючої відгуку від третього елемента затримки (12) (або від четвертого елемента затримки

диференціальної оболонки (22)) до затримки генерації сигналу перемикавання визначає знак огинаючої диференціалу, Будь ласка, обробіть сигнал Q для визначення диференціальної обвідної.

Сигнал сигналу з виходу блоку 8 надходить на перші входи третього і четвертого логічних елементів OR4 і 10 відповідно, а звідти на перші входи сьомого і восьмого елементів AND5 і 26. Стан цього предмета перевірено. 12. Відкрити третій і четвертий вентиляльні блоки (22, 13, 24) за допомогою вихідних сигналів третього і четвертого перетворювачів рівня імпульсних сигналів (11, 21) і сигналів закриття третього і четвертого блоків затримки обладнання. При такій конструкції логічні елементи 5 і 26 вмикаються тільки після затримки, визначеної блоками 12 і 22. Цього часу достатньо, щоб перейти до третього і четвертого блоків. Спогад четвертий. АБО блокує сигнали з виходів 4 і 10 з логічних елементів 6 і 27. Відгалуження після збудження за рахунок можливих змін реактивної потужності змінює коефіцієнт трансформації поперечного регулюючого трансформатора і забезпечує надійне перемикавання комутаційного пристрою під навантаженням підсилювач 14 або 23. Потрібно зупинитися і запам'ятати ці сигнали. Під час огляду конверт був цілий.

Елементи АБО включені в сигнальний шлях диференціальних сигналів, оскільки існує чутлива область, де повинні бути присутніми сигнали, що характеризують огинаючу диференціальної реактивної потужності. Вважається рівним 0. Якщо значення різниці дорівнює 0 при наявності сигналу на виході блоку блокування 13 або 24, тобто значення струму реактивної потужності не намагається повернутися в діапазон допустимих значень. Якщо встановлено чутливу зону блоку 16, слід надати команду переміщення. Другий логічний елемент NOT3 перетворює одиничний нульовий вихідний сигнал в одиницю і визначає похідну огинаючої сигналу 10 огинаючої, що відповідає третьому і четвертому елементам 4 і 10 АБО. Тому, якщо реактивна потужність, значення струму перевищує допустиму межу. В даний час немає проблеми, коли потенційний сигнал з'являється на виході пристрою 12 затримки, але похідна його обвідної має негативний знак. Коли сигнал подається на перший вхід елемента 19, команда масштабування не

генерується. Ця команда виконується, лише якщо похідна кривої реактивної потужності дорівнює нулю або має позитивний знак. Подібним чином, коли на виході блоку затримки 22 з'являється сигнал, якщо значення струму реактивної потужності менше допустимого значення і похідна його обвідної має позитивний знак, сигнал буде: недоступний. Другий вхід І 25 не генерує команду "зменшити". Це відбувається, коли похідна дорівнює 0 або має негативний знак, а на виході четвертого логічного елемента є сигнал АБО 10.

### 3.3. Моделювання роботи каналу керування трансформатором

У запропонованому регуляторі схема регулювання напруги споживання працює наступним чином. Напруга споживача вимірюється за допомогою вимірювального трансформатора (48), встановленого на стороні високої напруги (ВН) підстанції низького рівня і підключеного до першого входу колектора (44). Регулювання напруги вимірюється за допомогою датчика струму (49), підключеного до перетворювача струму шини, і на другий вхід колектора (44) надходить сигнал, пропорційний вимірюваному значенню струму. Колектор (44) створює загальну напругу  $U_k$  (рис. 3.4а). Колектор (44) має два виходи; перший вихід —  $a$ , а другий —  $b$ . На виході колектор 44 отримує імпульсну напругу  $k$  (рис. 3.4б), отриману двома напівперіодними корекціями сумарної напруги  $U_k$ , і передає інформацію про зміни огинаючої цієї напруги. Змінна напруга  $x_k$  проходить через вихідну клему колектора  $b$  (рис. 3.4в), а амплітуда негативного імпульсу  $A$  пропорційна середньому значенню повної напруги. Під час початкового формування блоку та корекції чутливості (45) сигнал  $k$  (рис. 3.4в) модулюється трапецієподібним сигналом. Форма літери  $U$  (рис. 3.4с). Його амплітуда визначає розмір поля чутливості регулятора в каналі регулювання напруги користувача. На виході блоку 45 виникає сигнал  $U_{kz}$  (рис. 3.4г), який несе інформацію про задану точку чутливої зони, різниця амплітуд негативного імпульсу  $\Delta A = A_1 - A_2$ . канал регулювання напруги.

Сигнал  $U_{kz}$  надходить з виходу блоку (45) на вхід першого блоку комутації цілей і керування (46), де формується імпульсний сигнал  $U_{kz}$ .

(рисунк 3.4е), амплітуди імпульсів  $V_1$  і  $V_2$  посилюються або послаблюються до рівня напруги, необхідного для шини підстанції. Імпульсний сигнал з виходу блоку 46 укзу надходить на вхід першого порогового блоку 47, який також є основним елементом, що несе інформацію про встановлений користувачем діапазон чутливості та параметри регулятора напруги. Стабілітрон  $U_{por}$  має заданий поріг спрацьовування. Якщо  $V_1, V_2 < U_{por}$ , струм, що протікає через стабілітрон, малий і сигнал на виході першого порогового блоку (47) відсутній. Якщо  $V_1 > U_{por}$  і  $V_2 < U_{por}$ , тільки імпульси більшої амплітуди збуджують стабілітрон і створюють імпульс прямокутної форми з частотою 50 Гц на виході порогового блоку (47). Якщо  $V_1 > U_{por}$  і  $V_2 > U_{por}$ , то стабілітрон збуджується кожним імпульсом сигналу  $U_{kzu}$  (рис. 3.4 д), так що на ньому з'являється серія прямокутних імпульсів з частотою 100 Гц. вихід.

В пороговому блоці відсутність імпульсного сигналу на виході першого порогового блоку 47 відповідає ситуації, коли напруга у споживача нижче заданого допуску в чутливій зоні 45 і формування блоку корекції напруги і перемикача. Параметр 46; 47 Поріг Серія імпульсів 50 Гц на виході пристрою означає, що напруга на споживаючому пристрої знаходиться в допустимому діапазоні. Якщо на виході порогового блоку з'являється серія імпульсів з частотою 100 Гц, це говорить про те, що значення параметра  $U_{nav}$  більше допустимого.

Вихід порогового блоку (47) надходить на перетворювач потенціалів на перший і другий входи імпульсних сигналів (40 і 50). Два імпульсні сигнали, що надсилаються на датчик потенціалу, як описано вище, розташовані так, що імпульс 50 Гц подається на вхід, а сигнал не подається на вихід потенціалу. Це еквівалентно тому, що напруга  $U_{nav}$  знаходиться в прийнятному діапазоні межа. На виході першого перетворювача формується потенційний сигнал, який перетворює імпульсний сигнал в 40 потенціал при подачі на вхід серії імпульсів з частотою 100 Гц. Це відповідає перевищенню допустимої напруги. Вихідний сигнал від перетворювача 40 активує перший блок затримки каналу 41, а потенційний вихідний сигнал від перетворювача 50 активує другий блок,

щоб забезпечити "покрокові" команди для зміни відводів трансформатора струму. Блок затримки часу каналу 51 генерує команду "інкремент".

Блок затримки часу (41, 51) і блок затримки шляху керування TPR необхідні, щоб запобігти посиленню силовою муфтою регулятора команд «збільшення» та «зменшення» в схему електроприводу. Він може обробляти короткі імпульси коливальної напруги, коли вмикаються або вимикаються енергоємні пристрої, такі як трансформатори. Блок 41 (або 51) затримки часу, збуджений першим перетворювачем, перетворює імпульсний сигнал в потенціал 40 (або 50), підключений до генератора тактових імпульсів (GTI) 30 після певної затримки часу від початку імпульсного сигналу. вихід. . пізніше) вимірює пульс. Цей сигнал подається на вхід першого логічного елемента 138 (або другого логічного елемента) через відповідний відкритий третій елемент 142 (або четвертий елемент 152). і 54). На інший вхід логічного елемента AND38 (або 54) надходить потенціальний сигнал, який формується першим блоком пам'яті (35 або 56), в якому зберігається інформація про прийняту напругу обвідної.

Знак огинаючої напруги визначається за вихідним сигналом першого блоку визначення вихідної огинаючої вхідного сигналу 36 , а його похідна визначається шляхом обробки вхідного сигналу на виході блоку 37 (рис. 2.10б). вхідний сигнал . Введіть блок 44. Сигнал зі знаком із виходу блоку 37 є вхідним сигналом для першого та другого елементів логічного АБО 33 та 39 відповідно, а також для їхніх п'ятого та шостого елементів 34 та 55 наступним чином.

Перший логічний елемент. Вихідні сигнали других імпульсних перетворювачів 40 і 50 контролюються першим сигналом і сигналом відключення. Перший і другий елементи (41, 51) затримки і третій і четвертий і елементи (42, 52) використовуються в періоді затримки між сигналами активації і дезактивації першого і другого елементів тимчасової затримки . . Блоки пам'яті 34 і 55 відкриваються. Він приймає сигнали сигналів з виходів першого елемента затримки та другого елемента затримки. Ці сигнали також потрібно блокувати та зберігати після керування одним із підсилювачів (43 або 53), щоб забезпечити стабільність. Алгоритм перемикання одноплечого

трансформатора струму, де напругу екрана можна змінювати протягом часу налаштування. При наявності сигналу на виході елемента I42 або 52 похідна напруги обвідної дорівнює нулю, тобто регульований параметр  $U_{nav}$  не прагне повернутися в область допустимих значень. Якщо блок 45 визначається чутливою областю, слід надати команду перетворення.

Вихідний сигнал пристрою 0 перетворюється на 1, який передається на перший і другий елементи АБО 33 і 39 для визначення напруги обвідної 36. Отже, коли потенційний сигнал з'являється на виході першого блоку затримки на малюнку 41, напруга налаштування користувача вища за допустиме значення, але якщо похідна огинаючої кривої має негативний знак, сигналу немає. Перший запис елемента I (38) і команда «зменшити» не генеруються. Ця команда подається, лише якщо похідна напруги обвідної дорівнює нулю або має позитивний знак. Подібним чином, якщо сигнал з'являється на виході блоку 51 затримки струму, якщо регульований користувачем рівень напруги має значення менше допустимого значення, а похідна огинаючої кривої має позитивний знак, тоді сигнал відсутній. Другий вхід елемента I (54) не надає інструкції збільшення. Якщо значення результату дорівнює 0 або має від'ємний знак, генерується значення результату.

Для команди «збільшення» або «зменшення» напруги електропривод відкриває перемикач РПН плоского трансформатора, а сигнал 43 або 53 «підвищує» його. «Зменшення» споживаної напруги активує електропривод в першому і другому підсилювачах відповідно в перемикачі відводів трансформатора струму. При цьому змінюється період тактових імпульсів генератора 29. Управління пристроєм здійснюється генератором тактових імпульсів (28). Генератор тактових імпульсів (GTI) - це генератор релаксації прямокутних хвиль, що складається з набору RC-схем з 28 різними постійними часу, , кожна з яких активується на 29 такті. Використовуйте відповідні команди для блоків затримки 12, 22, 41 і будь-яких блоків або вихідних сигналів. 51. Визначити послідовність усіх процесів перевірки та контролю ГТІ.

### 3.4. Моделювання роботи синтезованої структури регулятора в перехідних режимах

Період нормального режиму цього пристрою проілюстровано діаграмою сигналу, зображеною на малюнку. 3.5 Якщо контрольні параметри (такі як струм і напруга вузла живлення) знаходяться в межах прийнятних значень, GTI генерує серію імпульсів з періодом  $\tau_1$  (рисунок 3.5а). Якщо в момент часу  $t_1$  певний параметр (рис. 3.5е) виходить за межі дозволеного діапазону, контролер посилає команду «зменшити» або «збільшити» відповідному електроприводу коробки передач датчика. (рисунок 3.5б). При включеному електроприводі кулачковий елемент забезпечує самоутримання при перемиканні на важіль керування пристроєм перемикання РПН незалежно від стану підсилювача 14, 23 (або 43, 53) (рис. 3.5в). Цей же елемент камери забезпечує сигнал «вихід» на вхід блоку 28 (рис. 3.5д). Після сигналу «go» блок 28 посилає сигнал, який змінює структуру блоку 29, щоб змінити період імпульсу тактового генератора так, щоб GTI почав генерувати імпульси з періодом  $\tau_2$  (рис. 3.5а).

Час зупинки перед наступним імпульсом GTI відповідає несправності регулятора. Робочий трансформатор повинен завершити відгалуження з навантаженням в момент часу  $t'$  (рис. 3.5е). Якщо тривалість сигналу «перемикання» (рис. 3.5в) (що міститься на вході блоку 28 і відповідає тривалості режиму самообслуговування двигуна ) перевищує час (рис. 3.5в) ', вказується, що двигун "зупинився" ". Блоки та сигнали Блок 58 перевіряє точність регулятора та виявляє помилки в двигуні від часу  $t_1$  до часу  $t_2$  (рис. 3.5е).

Якщо регулятор і електропривод працюють, то після перемикання рукоятки однієї з відповідних обмоток трансформатора двигун вимикається і сигнал на вході блоку 28 відсутній. Блок 28 посилає сигнал. Щоб змінити структуру блоку 29, змініть період тактового імпульсу GTI 30 на попередній період, тобто період відстеження призначеного імпульсу  $\tau_1$  (рис. 3.5а).

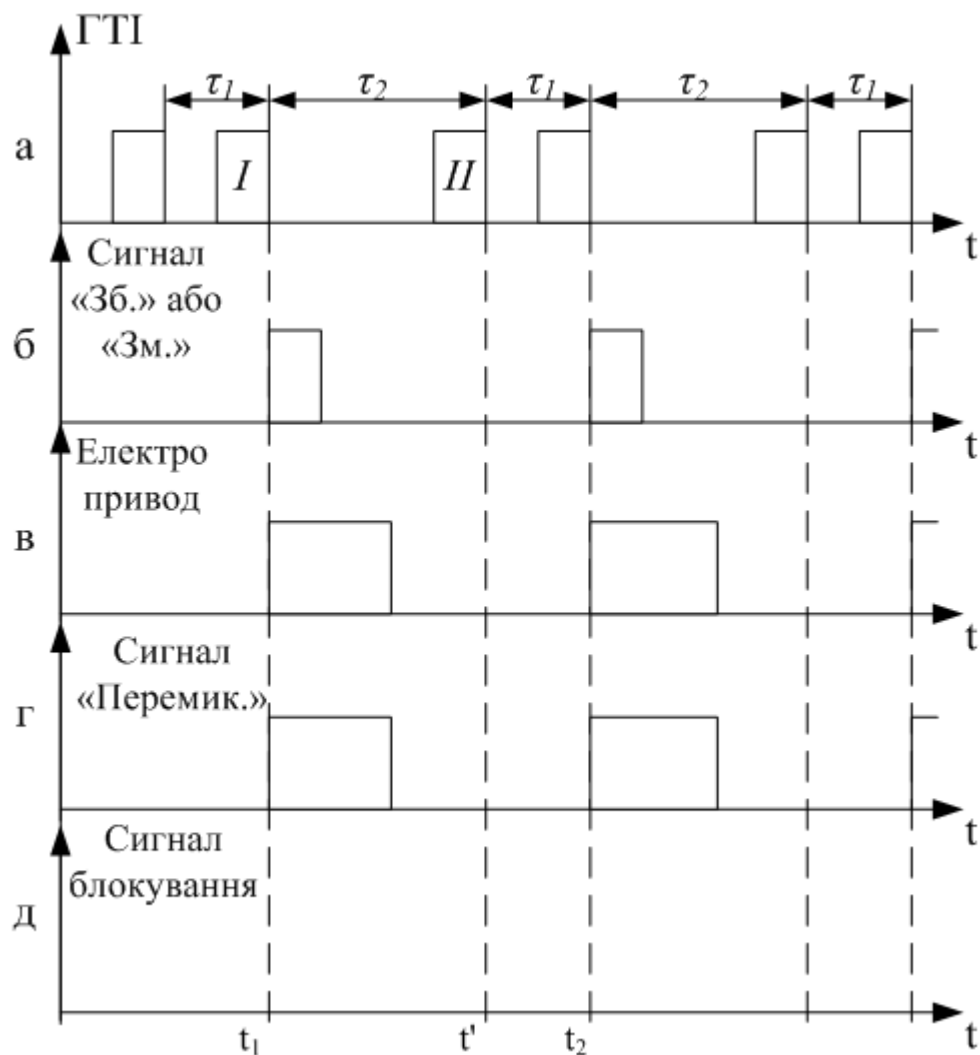


**Рисунок 3.5. - Сигнальна схема контролера системи керування  
поздовжнім і поперечним натягом**

Якщо відкриття однієї гілки пристрою РПН недостатньо для компенсації відхилення потоку струму (або напруги), регулятор виконує другий цикл перемикання як перший цикл перемикання. На додаток до генерації інструкцій для зміни тактового імпульсу GTI на 30 циклів, блок 28 виконує додаткові функції. Іншими словами, значення чутливих зон блоків 16 і 45 регулюються на основі «вихідного» сигналу. Чи буде сигнал, що надходить на вхід , в межах діапазону чутливості регулятора, залежить від способу налаштування. Коли його активовано, він надсилає команду «збільшення» або «зменшення» до ланцюга електричного приводу (14, 23) (або 43, 53) шестерні приводу,

включаючи реле (рисунок 3.5б). При цьому електропривод, який виконує команду, встигає перейти в режим самообслуговування (рис. 3.5в) і служить для запобігання виконанню елемента реле 14, 23 (або 43, 53). монітор. продовжувати. Вам потрібно вийти зі свого циклу та створити тимчасове середовище для наступного перехідного періоду.

Пристрій блокування і сигналізації 58 виявляє помилки «стоп» і «холостий хід» електроприводу, а також несправності в ланцюгах блоку управління наступним чином: Якщо на ГТІ 30 є імпульси, то на схемі позначка І.

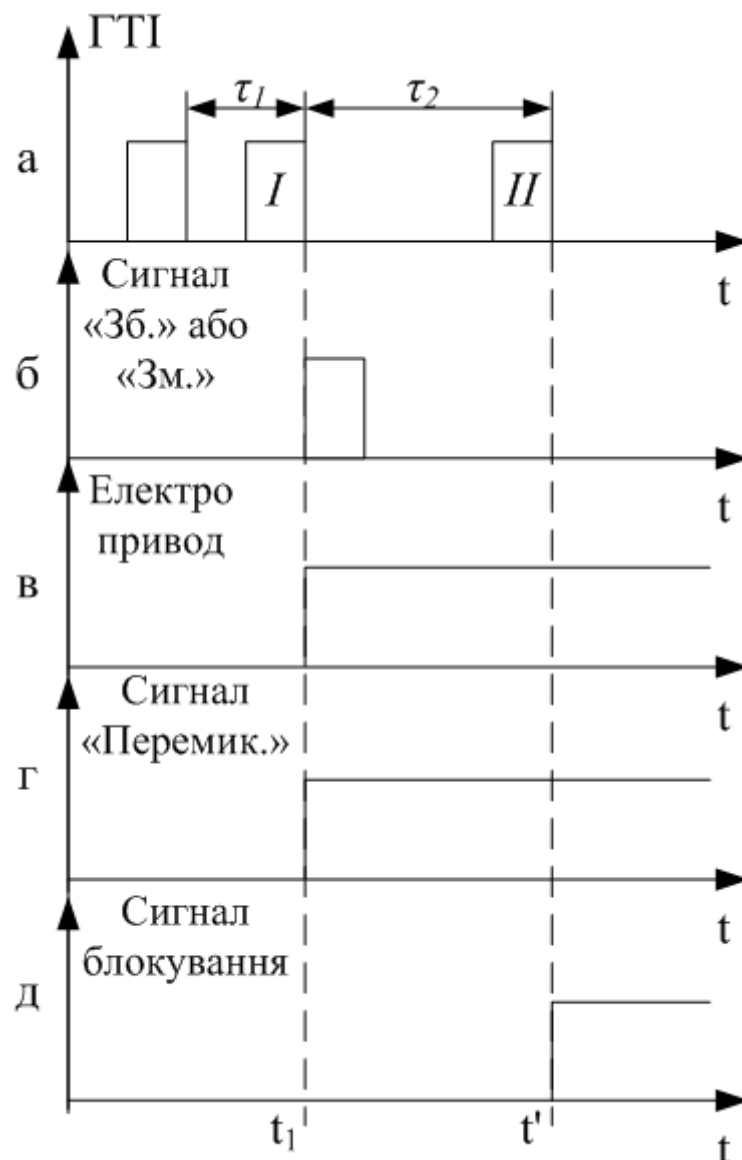


**Рисунок 3.6. - Схема керуючого сигналу регулятора**

На рис. 3.6а зображено команду «підняти» або «опустити» (рис. 3.6б), яка зазвичай виконується електроприводом (рисунок 3.6в), а також імпульс, позначений як II від GTI 30 (рисунок 3.6а). Після припинення надходження вихідного сигналу блоку на першу вхідну клему, електропривід надходить на вхідну клему блоку управління (57) у стані «стоп». 28 закінчується сигналом «ключ» і припиненням електроприводу (рисунок 3.6г). Тому на виході блоку 57, який виконує логічну функцію I, немає сигналу. Коли електропривод «просідає» (рис. 3.6в), на вхід блоку 57 надходить сигнал під впливом «випрямленого» сигналу на виході блоку 28 (рис. 3.6в). Для GTI 30 це момент, який вражає головним чином на другому вході в зону II. В результаті на виході блоку 57 з'являється імпульс, який включає блок і сигналізує блоку 58 (цей блок). Щоб увійти в режим самозавантаження, ми реалізуємо функцію логічного АБО як основну функцію. При активації блоку блокування та сигналізації 58 сигнал логічної 1 передається з виходу блоку затримки 12, 22, 52 на інвертуючий вхід елемента I13, 24, 42, 52, який блокує ланцюг подачі сигналу. Повністю. І елементи 9, 25, 38 і 54 підключені до входів 41 і 51.

Це змушує підсилювачі 14, 23, 43, 53 зупинятися відповідно до генерації та скасування команд «збільшення» або «зменшення» регулятора. Також використовуються сигнали помилок. Скидання запобіжних блоків і сигналізацій здійснюється тільки після усунення несправності та подачі ручного сигналу «скидання» від зовнішнього джерела. Якщо в результаті активації підсилювача (14, 23, 43 або 53) формується команда «підвищити» або «зменшити» (рис. 3.7б), то на відповідному виході затримки часу (12, 22 ), 41 або 51 – це блоки, що змінюють період тактового імпульсу в нормальному режимі через помилки в схемі регулятора (рис. 3.7г), сигнали «переривання» через замикання тракту керування та зміни чутливості. Регулятор зон 16 і 45. Таблиці та блоки змін не можна скинути через затримки виконання.

Для перебудови структури GTI (30) продовжує генерувати імпульси з періодом  $t_1$  незалежно від того, чи надходить сигнал з виходу комутаційного блоку (28) на вхід тактового імпульсу (29) комутаційного блоку (рис. 3.7а). Період генерації імпульсу  $t_2$ .

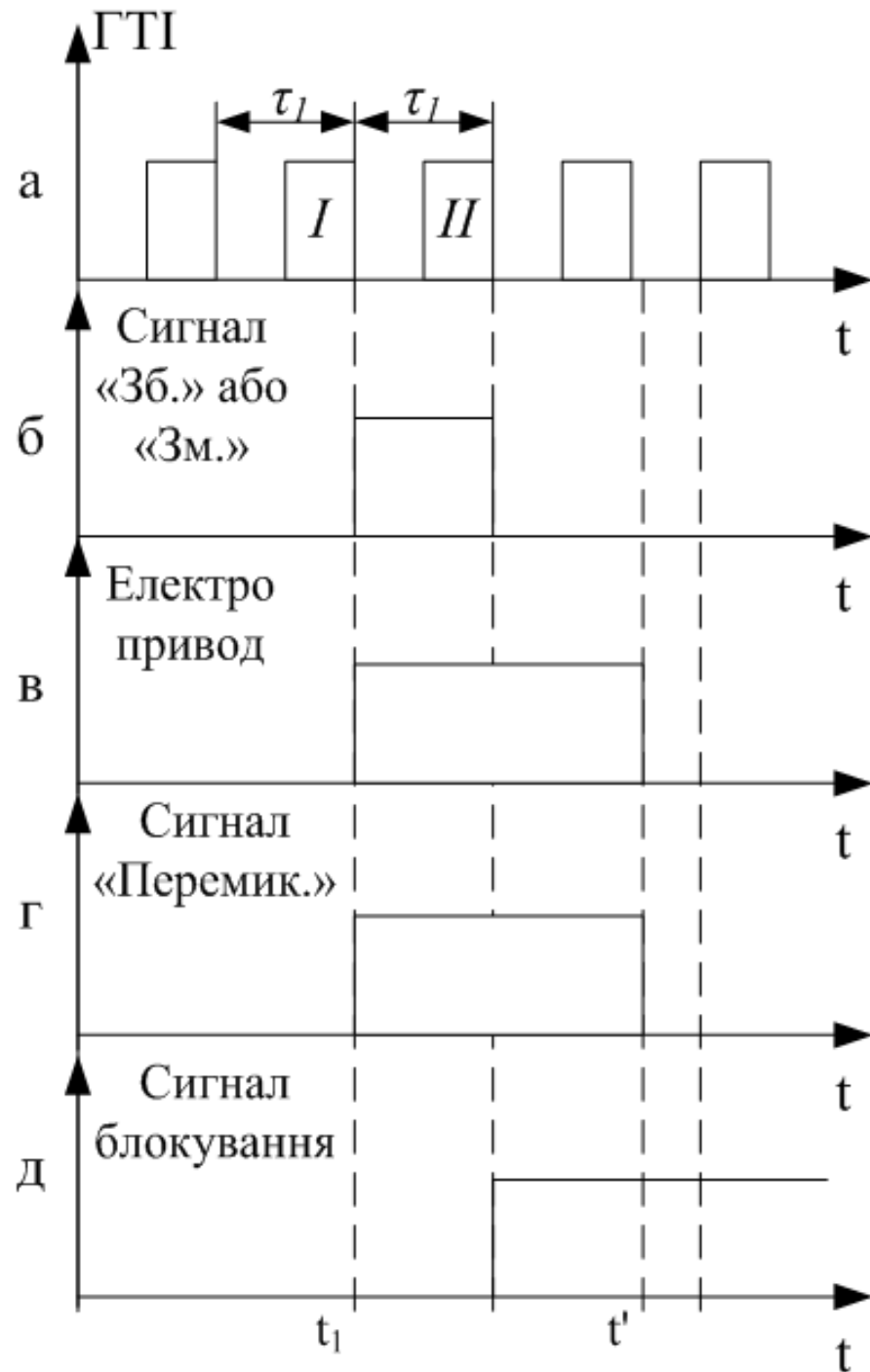


**Рисунок 3.7. - Схема сигналу керування композитним регулятором при виході з ладу схеми GTI**

Саме високий генератор, підключений до ланцюга GTI 30 RC, впливає на час зарядки та визначає час коливань. Це може бути викликано неправильним виведенням елемента затримки часу. Таким чином, імпульс II, що надходить на вхід блоків GTI 30-57 (рис. 3.7а), призводить до генерації вихідного сигналу блоку перемикання 28, коли вихідний сигнал блоку перемикання 28

вже присутній на іншому вході. Блок виходу і сигналу 57. Це активує сигнальний блок 58 (рис. 3.7е) і проводить його через елементи І 13, 24, 42, 52. Це вимикає створення нових команд (рис. 3.7б) і виконання сигналів. через помилки.



**Рисунок 3.8. - Діаграма сигналу керування регулятором при несправності перемикача РПН**

Якщо електропривод знаходиться в стані «неактивний» (рис. 3.8в), сигнал «Комутація» не надсилається в схему двигуна, коли відображається команда «Збільшення» або «Зменшення» (рис. 3.8б). Комутаційний блок 28 (рис. 3.8г) вставляється так, щоб ГТІ безперервно генерував серію імпульсів з періодом  $30 \tau_1$ . Імпульси II ГТІ 30 (рис. 3.8а) діють на блок 31 разом із сигналом, отриманим від відповідного активного підсилювача, що призводить до появи сигналу з виходу блоку 31 на вхід сигналу. Сигнальний блок 58 (рис. 3.8д) блокує два шляхи управління через елементи I13, 24, 42, 52 і скасовує команди і сигнали, пов'язані з дефектом.

### **3.5. Висновки**

Відповідно до розглянутого закону регулювання напруги, використовуючи теорію автоматичного керування трансформаторними системами, структура регулятора є інтегрованою, з функціями поздовжнього та поперечного регулювання напруги та синхронного керування з функціями електротехнічного комплексу.

## 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГОЮ

### 4.1 Розробка матмоделі

Розглянемо структурну схему каналу керування ТПР (рисунок 3.2).

Схема для моделювання показана на рис. 4.1, серед яких: 1, 3 - логічні елементи «АБО». 2 - Блок індикації диференціального знака середньоквадратичної напруги навантаження. 4, 14 - Імпульсний сигнал перетворювача потенціалів. 5, 15, - Блок затримки. 6, 16 - Імпульсний елемент. 7, 17 - логічний елемент «і». 8 - Сітка. 9—Канал вимірювання реактивної потужності. 10—Канал вимірювання активної потужності. 11 - Терези . 12-Підсилювач. 13 - Блок перешкод . 18 - Електродвигуни галузевого обладнання ТПР, 19 - Комутаційні апарати [20].

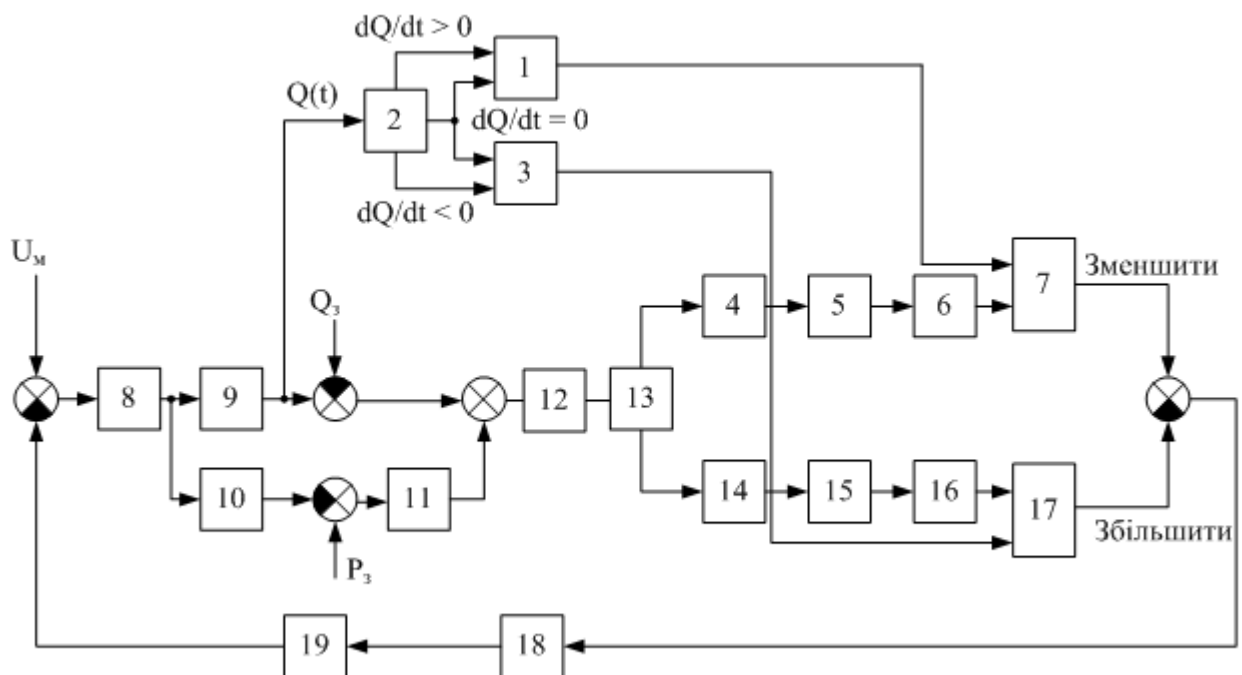


**Рисунок 4.1. - Схема конфігурації каналу керування автоматичним регулюванням напруги трансформатора струму контактної системи під навантаженням**

Напишемо передаточну функцію для кожного блоку.

Функціональне призначення блоку затримки часу  $\tau$  полягає в повторенні одного і того ж сигналу на виході після закінчення певного часу від вхідного сигналу без спотворень і підсилення. Ці блоки визначаються рівняннями виду:

$$x_{out}(t) = x_{in}(t - \tau), \quad (4.1)$$

і  $t > \tau$ .

Передаточна функція цього блоку:

$$W(p) = e^{-p\tau}, \quad (4.2)$$

де  $\tau$  – затримка сигналу.

Перемикач РПН 15 має унікальний час розриву контакту від 3 до 12 секунд, залежно від типу двигуна. Отже, передаточна функція двигуна дорівнює:

$$W(p) = e^{-pT_d}, \quad (4.3)$$

$T_d$  — час передачі потужності від однієї гілки ланцюга трансформатора до іншої.

Зміна відводу навантаження (16) пояснюється низкою нелінійних залежностей.

$$u_{ст} = \begin{cases} u_0, & \text{якщо } x < 0, \\ -u_0, & \text{якщо } x > 0, \\ 0, & \text{якщо } x = 0, \end{cases} \quad (4.4)$$

де  $u_0$  - перехідна фазна напруга.

Імпульсні елементи 6 і 13 здійснюють амплітудну модуляцію імпульсу і визначаються передаточною функцією.

$$W_{ie}(p) = \frac{1 - e^{-p\tau}}{p}. \quad (4.5)$$

Граничний блок (10), який представляє чутливу область системи, пояснюється в такому форматі:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{якщо } -\Delta \leq u_B \leq \Delta, \\ k(u_B + \Delta), & \text{якщо } u_B < -\Delta, \\ k(u_B - \Delta), & \text{якщо } u_B > \Delta, \end{cases} \quad (4.6)$$

Де значення для чутливих зон  $\Delta$

Тангенс нахилу порогового значення блоку .

Опір мережі має активно-реактивні характеристики (реактивний опір представлений індуктивною складовою навантаження та ємнісною складовою лінії живлення), що дозволяє зменшити перехідні процеси при комутації гілок. викликати його появу. Стан пристрою РПН під навантаженням. Згідно Г-подібного методу комутації передаточна функція електромережі дорівнює:

$$W_{\text{ем}}(p) = \frac{1}{LCp^2 + RCp + 1}, \quad (4.7)$$

Тут  $L$ ,  $C$  і  $R$  є індуктивністю, ємністю та активним опором лінії передачі відповідно.

Залежно від співвідношення значень  $L$ ,  $C$  і  $R$  мережі перехідний процес може бути аперіодичним або коливальним.

«І» може передаватися між 7 і 14 логічними елементами [5].

$$W_{\text{"I"}} = \begin{cases} y > 0, & \text{якщо} \begin{cases} x_1 > 0, \\ x_2 > 0, \\ x_3 > 0, \end{cases} \\ y \leq 0, & \text{якщо} \quad x_1 \leq 0, \\ y \leq 0, & \text{якщо} \quad x_2 \leq 0, \\ y \leq 0, & \text{якщо} \quad x_3 \leq 0, \end{cases} \quad (4.8)$$

Тут  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  — вхідні сигнали.

$y$  вихідний сигнал.

Передатна функція для логічних елементів «АБО» 1 і 3 виглядає наступним чином:

$$W_{\text{"АБО"}} = \begin{cases} y \leq 0, & \text{якщо} \begin{cases} x_1 \leq 0, \\ x_2 \leq 0, \end{cases} \\ y > 0, & \text{якщо} \quad x_1 > 0, \\ y > 0, & \text{якщо} \quad x_2 > 0, \end{cases} \quad (4.9)$$

Імпульсні сигнали перетворювачів потенціалів 4 і 11 є інтеграторами, а їх передавальні функції:

$$W_{\pi}(p) = \frac{1}{p} \quad (4.10)$$

Є дев'ять функцій передачі для з'єднань вимірювання струму.

$$W_{\text{пот}}(p) = \frac{k_{\text{тр}} k_{\text{пер}} (T_{\text{тр}} p + 1)}{T_{\text{тр}} T_{\text{пер}} p^2 + (T_{\text{тр}} + T_{\text{пер}}) p + 1} \quad (4.11)$$

Тут  $k_{\text{тр}}$  і  $k_{\text{пер}}$  — коефіцієнти пропускання трансформатора і перетворювача.

$T_{\text{тр}}$  і  $T_{\text{пер}}$  – постійні часу трансформаторів і перетворювачів [20].

## **4.2 Теоретичне імітаційне моделювання роботи системи регулювання напруги та визначення показників стійкості**

Нам потрібно отримати графік часової ознаки  $h(t)$ . Як відомо з [5], це функція, яка описує реакцію системи на однокрокову дію з початковою умовою нуль і може бути визначена аналітично за допомогою однієї функції.

$$l(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t \geq 0, \\ 0, & \text{якщо } t < 0. \end{cases} \quad (4.12)$$

Вивчення систем автоматичного контролю стійкості вимагає використання комп'ютерного моделювання, оскільки класичні критерії стійкості недоступні.

Ми використовуємо MatLab [23, 24]. Цей пакет прикладних програм можна використовувати для вирішення різноманітних математичних задач і включає програми Simulink [1]. Програма дозволяє легко створювати плани моделювання для досліджуваних систем і отримувати результати моделювання в зручному візуальному форматі.

Модель дозволяє швидко знаходити оптимальні параметри регулювання регулятора для роботи на підстанціях різної потужності (якщо закони регулювання вимагають визначення обмежень струму для компенсації), що

може призвести до різних рівнів напруги та потреби в енергії. Режим мережі за допомогою джерела змінного струму.

За умови, що така система регулювання встановлена на підстанції 110/10 кВ, значення діапазону чутливості модельного регулятора напруги встановлено  $\pm 5\%$  згідно з [46]. Система складається з автоматичного регулятора, який контролює положення датчика при контакті з вантажем. Трансформатори рівня та трансформатори струму. Універсальні моделі цих систем були розроблені в середовищі Matlab. Simulink повністю дотримується [1] деталей, що стосуються окремих елементів.

Регулятор напруги має два входи напруги (джерело і навантаження) і два входи струму (джерело і навантаження). Оскільки струм мережі і струм навантаження визначаються значеннями активного і реактивного опору ліній електропередачі, самим користувачем (якщо не брати до уваги струм холостого ходу трансформатора) і моделлю системи керування, входи блоку X. і блоку R є входними регуляторами струму, це означає, що реактивний і ефективний опір навантаження та відповідної лінії передачі визначають значення опору. Використовується для введення фактичних значень. струм мережі та навантаження. Кожен з них підключається до первинної обмотки трансформатора 110/10 кВ. Активні і миттєві значення струму і мережевого навантаження в моделі визначаються внутрішньою структурою регулятора напруги. Модель системи координат зображена на рисунку. 4.2.

Як показано на рис. 4.2: 1 – одиниці, які використовуються для введення коефіцієнта перетворення вторинного трансформатора TPR. 2 - Пристрій для визначення напруги, що розвивається в первинній обмотці трансформатора струму. 3—Агрегат, що визначає значення напруги енергосистеми. 4 – Перемикач РПН типу ТПР 5 – Тип ТПР 6 – Пристрій контролю початкових параметрів системи. 7—Пристрій для визначення значення зниження реактивного опору навантаження первинної обмотки трансформатора струму. 8 - Блок визначення зниження активного опору навантаження первинної обмотки трансформатора струму. 9 – Пристрої, що подають сигнали, що заважають роботі регулятора. 10 – Модель регулятора. 11 – Модель РПН

трансформатора струму. 12 – Модель силового трансформатора. 13 - Модель поступової деградації одного з параметрів енергетичної системи.

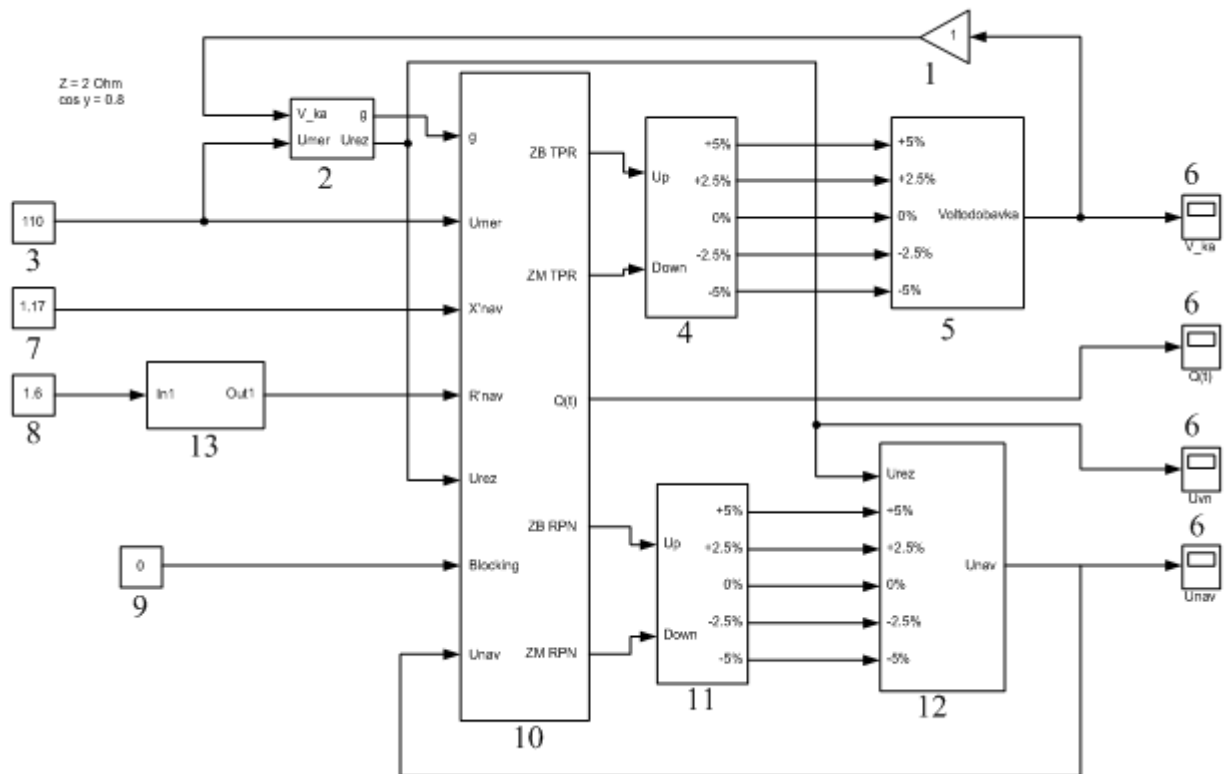


**Рисунок 4.2. Модель САК вертикального та горизонтального регулюючого трансформатора напруги**

Модель стабілізатора напруги представлена на рис. 4.3. Вихідним сигналом регулятора є імпульс з виходу логічного блоку тракту управління Og В і Og М і тракту регулювання напруги Og MU і Og BU .

Додаткові блоки, які є частиною моделі регулятора, але не входять до складу фізичного регулятора, являють собою блоки, які використовуються для налаштування параметрів підводної мережі (середньоквадратичні значення струму, напруги, різниці фаз, струму та повного опору). , пояснено вище. У фізичних регуляторах цей модуль замінений на датчики, які вимірюють напругу і струм. Структура пристрою наведена на рис. 4.4, який визначає параметри поточної системи.

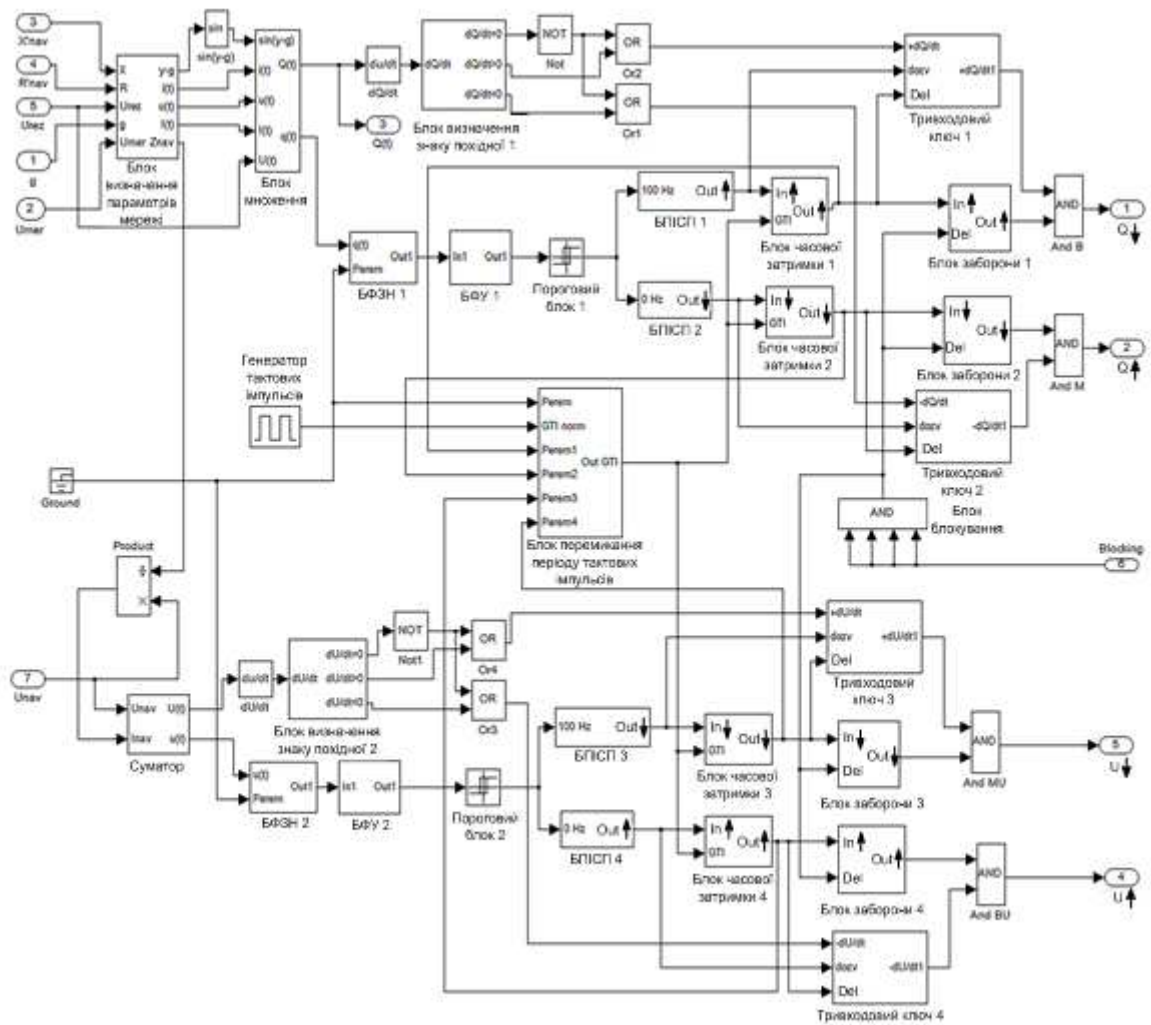


Рисунок 4.3. - Моделі з автоматичним регулятором напруги

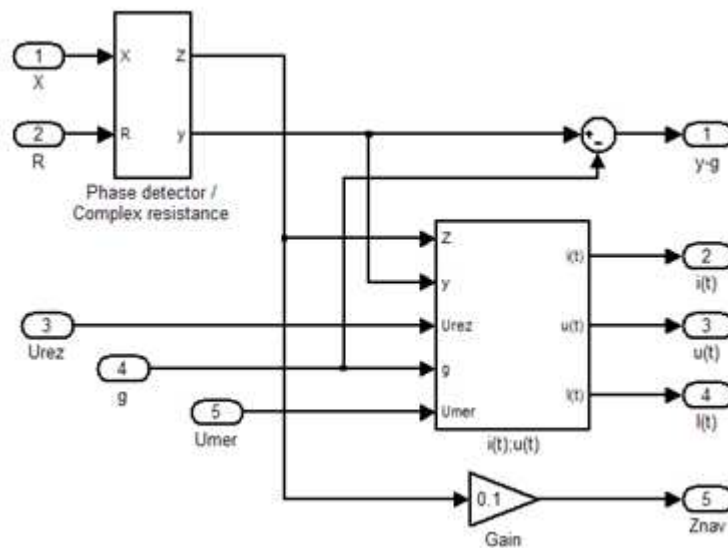


Рисунок 4.4. - Структура блоку Imer для налаштування параметрів мережі

Щоб розрахувати струм навантаження (одне із спотворень регулювання напруги), необхідно визначити загальний опір навантаження. Кут  $u$ , що відповідає куту  $\psi$ , також визначає коефіцієнт потужності навантаження. це залежить. Відношення струму активної потужності до струму реактивної потужності. Розрахунки цих двох основних змінних проводилися з використанням поетапних будівельних блоків. Основна структура детектора / композитного резистора показана на рис. 4.5.

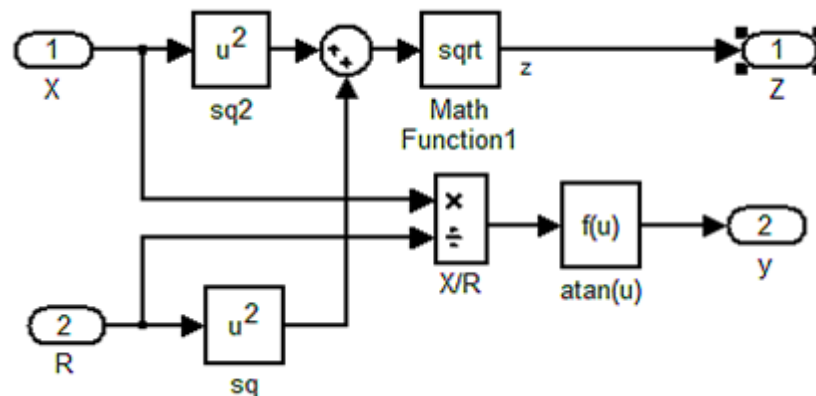


**Рисунок 4.5. - Блокова структура детектор / комплекс резистор, який визначає загальний опір навантаження**

Ще однією важливою частиною приладу для визначення параметрів мережі є прилад для визначення значень струму та напруги. Це пояснюється тим, що напруга, струм і сила струму мають активні значення і амплітудні значення в робочий час. регулятор. Виміряйте ефективність. Внутрішня структура пристрою, який використовується для визначення величин струму і напруги, показана на рис. 4.6.

У моделі керування *mpozh* має два виходи: миттєве значення реактивної потужності  $q(t)$  і значення активної реактивної потужності  $Q(t)$ . Перший вихідний сигнал необхідний для визначення поточного положення в тракті управління TPR певної чутливої зони регулятора, а другий вихідний сигнал необхідний для визначення диференціального знака кривої споживання реактивної потужності . Будова амортизаційного блоку показана на рис. 4.7.

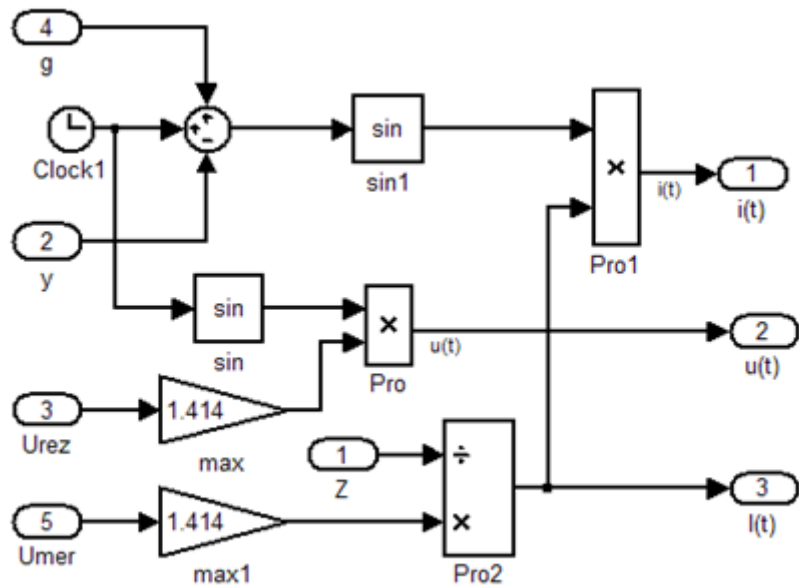


**Рисунок 4.6. - Структура блоку для обчислення миттєвого значення струму та напруги  $i(t)$**

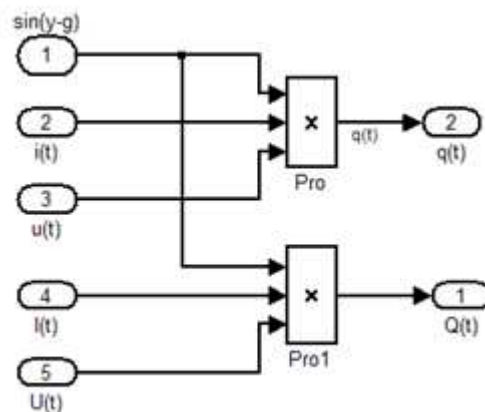


**Рисунок 4.7. - Структура множника для розрахунку значення поточної потужності та значення активної потужності в контрольній зоні**

Для створення чутливого поля регулятора ці блоки об'єднують свої модифікації під впливом сигналів перемикання генератора драбинчастих сигналів (яких два: тракт управління TPR і сигнал, що генерується відводним перетворювачем живлення) з колекторним (трапецієподібним) входним сигналом імпульс (норма). Частота сигналу генератора вдвічі перевищує частоту входного сигналу та зсувається по фазі, щоб відповідати змінним

позитивним і негативним значенням амплітуди вхідного сигналу. Трапецієподібні імпульси від генератора сигналів.

Амплітуда трапецієподібного сигналу відповідає діапазону чутливості контролера. При надходженні логарифмічного сигналу 1. На вхід з'єднання Перем блоку, вхідний сигнал колектора передається на генератор трапецієподібних сигналів у режимі з'єднання (Trapese) за допомогою перемикача. Імпульс двонаправлений, амплітуда цих сигналів гарантує, що кожен вхідний сигнал знаходиться в чутливій зоні контролера.

Вихідний сигнал структурного блоку та зміни діапазону чутливості контролера подаються на входи будівельного блоку заданого значення та блоку налаштування. За допомогою модуляції вхідного сигналу кондиціонера за допомогою драбинового сигналу результуюча негативна амплітуда імпульсу просто вимірюється та посилюється. У цій блочній моделі (рис. 4.8) амплітуда негативного імпульсу вимірюється за допомогою блоку Zriz. Максимальна межа сигналу встановлена на 0, що збільшує амплітуду імпульсу та робить його позитивним імпульсом.

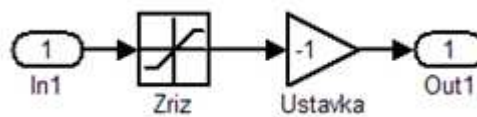


**Рисунок 4.8. Модель пристрою для створення та зміни параметрів регулятора**

У моделі регулювання блоки порогів керування для перемикача РПН і трактів трансформатора струму реалізовані за допомогою релейних елементів Porog. Q Blocks і Porog мають U-подібну форму. Точки спрацьовування цих елементів відповідають зазначеним значенням потоку енергії та напруги споживання, а точки їх закінчення дорівнюють точкам спрацьовування. Таким чином, вихідний сигнал порогового блоку містить 0 Гц (нижче чутливої області вхідного сигналу контролера), 50 Гц (у чутливій області вхідного сигналу контролера) і 50 Гц (у чутливій області вхідного сигналу контролера).

Це дискретний сигнал, відповідний його частоті 100 Гц (діапазон чутливості вхідного сигналу зовнішнього контролера).

Якщо на вході (від схеми, що генерує команду «підвищення») міститься серія імпульсів із частотою 0 Гц або 100 Гц, дія імпульсного сигналу блоку перетворення рівня полягає у генеруванні вихідного сигналу логічної 1. Зробив приклад генерації команди "зменшити"). Існують відмінності в шаблонах блоків перетворення імпульсного потенціалу ланцюгів каналів «вгорі» та «вниз». Самі блоки передаються за допомогою послідовного з'єднання аналогового блоку.  $F_{sp}$  має коефіцієнт посилення 3 і використовується для вирівнювання вхідної серії імпульсів і реле в блоці реле.

Вихідна сторона трансмісії  $F_{sp}$  — безперервний аналоговий сигнал. При проходженні серії імпульсів з частотою 100 Гц сигнал відповідно збільшується, а при проходженні серії імпульсів з частотою 50 Гц значення сигналу зменшується. Робоча точка для команди «зменшення» релейного елемента у вихідному ланцюжку дорівнює 100. Послідовність Герца вибирається меншою, ніж аналоговий сигнал, і більшою, ніж послідовність вхідних імпульсів блоку.

Якщо частота становить 50 Гц, точка запуску не повинна перевищувати мінімальне значення аналогового сигналу в пакеті 100 Гц. Якщо релейний елемент розімкнутий, вихідний сигнал дорівнює 1; якщо релейний елемент замкнутий, вихідний сигнал дорівнює 0. Точка спрацьовування релейного елемента схеми вибирається меншою, ніж аналоговий сигнал, який генерує команду «підвищити». в кінці перехідного елемента Для серії вхідних імпульсів з частотою 50 Гц  $F_{sp}$  і точка зрізу повинні бути близькі до нуля (або менше точки зрізу релейного елемента на виході ланцюга зворотної команди). Вихідний сигнал дорівнює 0, коли відкритий, і 1, коли закритий (рис. 4.9).

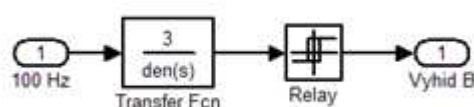


**Рисунок 4.9. - Модель пристрою, що перетворює імпульсні сигнали в потенційні**

Елемент затримки контролюється імпульсами від генератора тактових імпульсів GTINorm1 (GTI). Це реалізовано в моделі як комбінація часових затримок і логічних елементів. Структура моделі компонента мертвого часу показана на рис. 4.10.

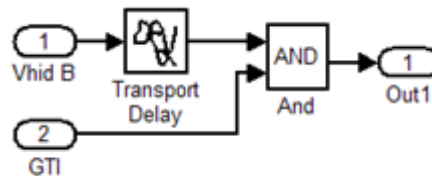


**Рисунок 4.10. - Модель елемента затримки, керована генератором тактових імпульсів**

Вихідний сигнал елемента затримки пропускається, а вхід інверсного керування з'єднується з виходом блокуючого блоку, який є логічним елементом регулюючої моделі (рис. 4.11). Усі блочні моделі системи нагляду мають однакову структуру.

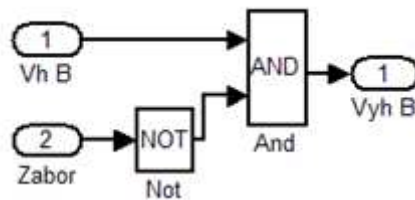


**Рисунок 4.11. - Блокова модель**

Диференціальна огибаюча сигналу реактивної потужності та знак напруги живлення. Структура цих блоків однакова. У моделі контролера функція визначення знака диференціальної огибаючої вхідного сигналу реалізована за допомогою модуля Sign. Символ для однієї зі структур  $dQ / dt$ ,  $dU / dt$  показано на рис. 4.12.

Блокові моделі оснащені елементами з повною світлочутливою зоною. поле міститься в будь-якому визначенні блоку коду, отриманому з конфігурації. Результируючий сигнал потім подається як вхід до елемента символічного коду. Коли вхідний сигнал дорівнює 0 (тобто вхідний сигнал регулятора не змінюється, а вихідне значення дорівнює 0), коли вхідний

сигнал регулятора збільшується, на виході регулятора видається сигнал рівний 0.

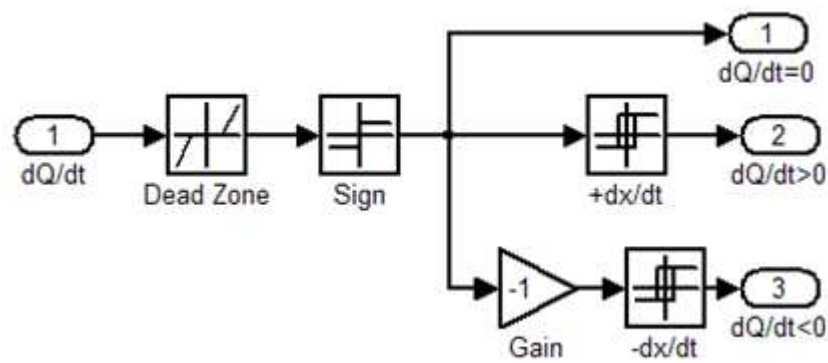


**Рисунок 4.12. - Визначення блокових моделей для похідних символів прислівників симптом  $dQ / dt$**

Його похідна більша за 0, а вихідний сигнал елемента Sign дорівнює 1, що активує релейний елемент  $+dx / dt$  і відображає логарифмічний сигнал . У кінці блоку  $dQ / dt > 0$  і встановлюється знак диференціалу . У цьому випадку при зменшенні вхідного сигналу регулятора його похідна стає негативною і на виході елемента Sign з'являється сигнал -1, який використовується для його перетворення в сигнал позитивної полярності. Активовано блок підсилювача з коефіцієнтом посилення -1 та інший блок реле  $-dx / dt$  . Другий вихід видає логарифмічний сигнал 1 , коли похідна огинаючої вхідного сигналу менше 0 , якщо швидкість наростання або спаду вхідного сигналу регулятора неважлива, пристрій, який визначає знак диференціальної огинаючої, забезпечує сигнал  $dQ/dt . = 0$ , оскільки є чутлива зона.

Стійкість алгоритму контролера забезпечується набором елементів з трьома кнопками введення та блоком пам'яті в кожному ланцюжку генерації команд. У моделі регулювання це завдання вирішується третьою ланкою BQ (тобто блоком третьої ланки MQ на шляху керування TPR ) і третьою ланкою BU (тобто третім блоком ланки MU на шляху керування напругою навантаження ) . Кожен модуль має подібну структуру, що містить три вхідні та логічні елементи, логічний модуль HE та тригер RS. На рисунку 4.13 показана модель тристоронньої комутації з блоками пам'яті .

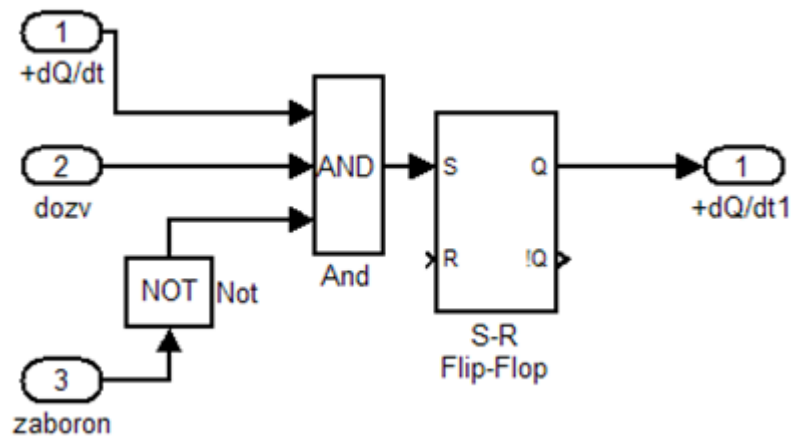


**Рисунок 4.13. - Модель тристороннього перемикача з блоком пам'яті в інструкції «збільшення» третього перемикача BQ у шляху керування TPR**

Це колекторний регулятор напруги споживача, який здійснює «взаємне» регулювання напруги. Суматор тракту регулювання напруги та помножувач тракту керування ТПР мають два виходи: поточне значення навантаження та поточне значення напруги.

Випрямлення синусоїдальної напруги протягом двох півперіодів , а модуль Abs використовується в колекторній моделі для отримання імпульсу (рис. 4.14). Вихідний сигнал надходить від входу синусоїди. На рисунку 4.14 зображена колекторна модель регулятора напруги.

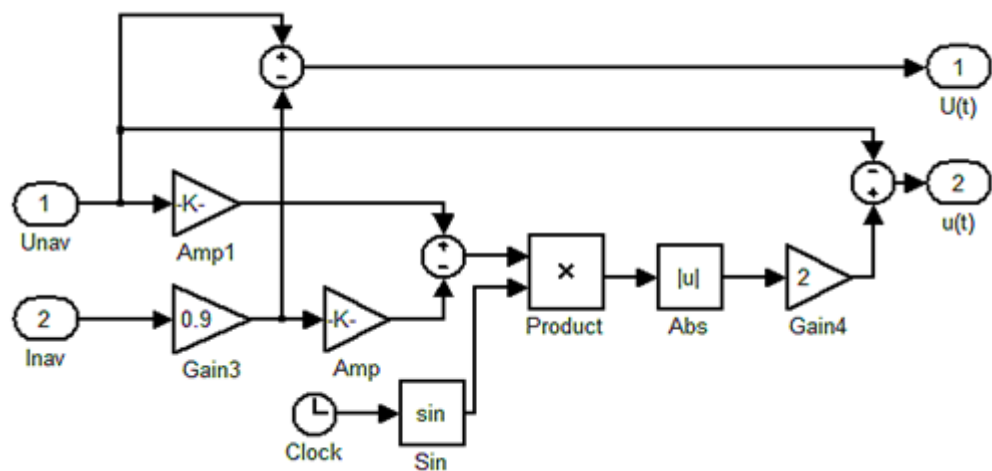


**Рисунок 4.14. - Спосіб керування колекторною напругою моделі колектора**

Коефіцієнт підсилення (рис. 4.14) дорівнює 1,414. Це відповідає відношенню амплітуди до середнього квадратичного значення синусоїдальних напруг і струмів.

Важливою частиною регулятора для діагностики та пошуку несправностей є пристрій, що змінює період тактового імпульсу регулятора. Тобто під час перемикавання між часовими імпульсами встановлюється більше, ніж у режимі очікування, поки електропривод РПН не перейде у власний стан зберігання. Ситуація Гілка закінчилася. Цей блок ( блок Зміни циклу GTI ) виконано, як показано на рис. 4.15. GTIcom використовує додатковий генератор прямокутних імпульсів, період наростання якого залежить від стану перемикача , логічного оператора АБО, логічного оператора НЕ та стану перемикача керуючого перемикача .

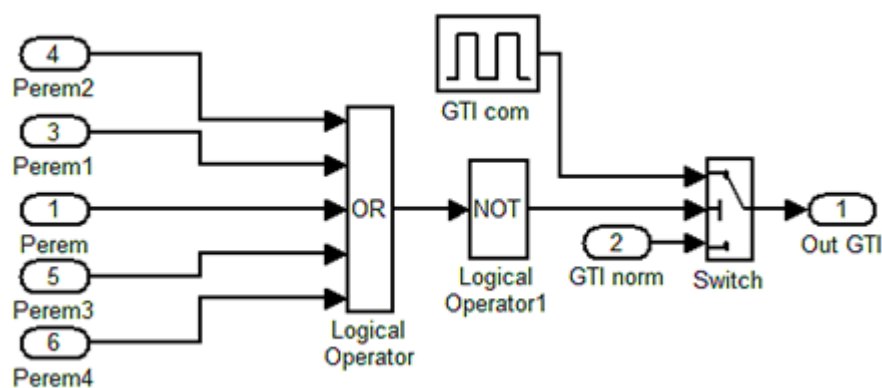


**Рисунок 4.15. - Модифікувати модель пристрою періоду імпульсу GTI**

На рис. 4.16 показана модель механічного пристрою РПН під навантаженням. З огляду на коефіцієнт перетворення 110/10 кВ використовується модель додаткового трансформатора струму (рис. 4.17). Швидкість перемикавання визначається стабільністю системи регулювання напруги.

Базуючись на структурі отриманої системи саморегулювання, додано модуль, показаний на рисунку 1, для моделювання впливу бокового

регулювання напруги на напругу, що прикладається до первинної обмотки трансформатора струму.

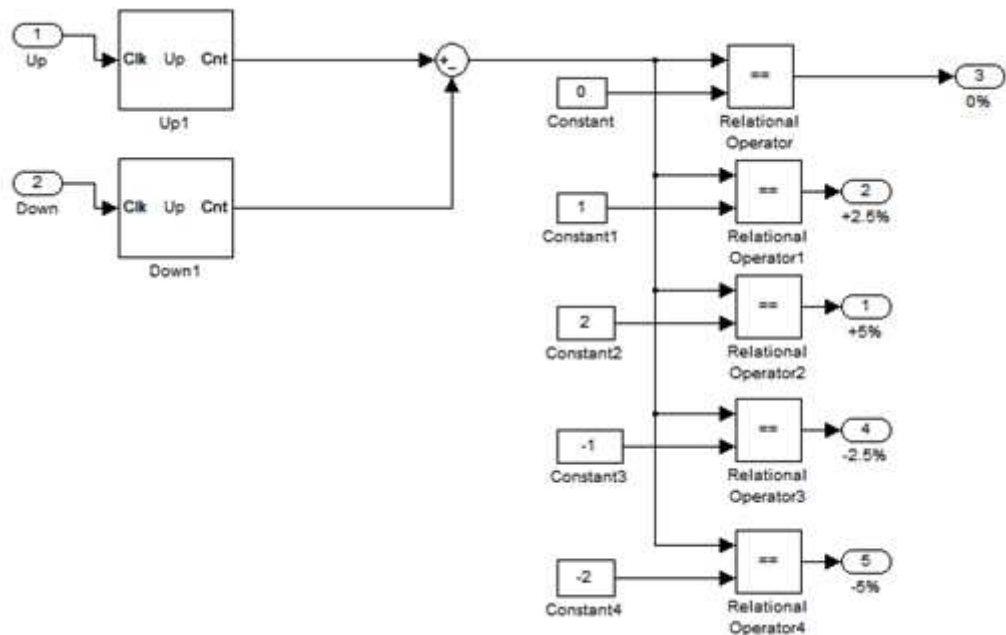


**Рисунок 4.16. - Модель пристрою вимикача живлення РПН трансформатор**

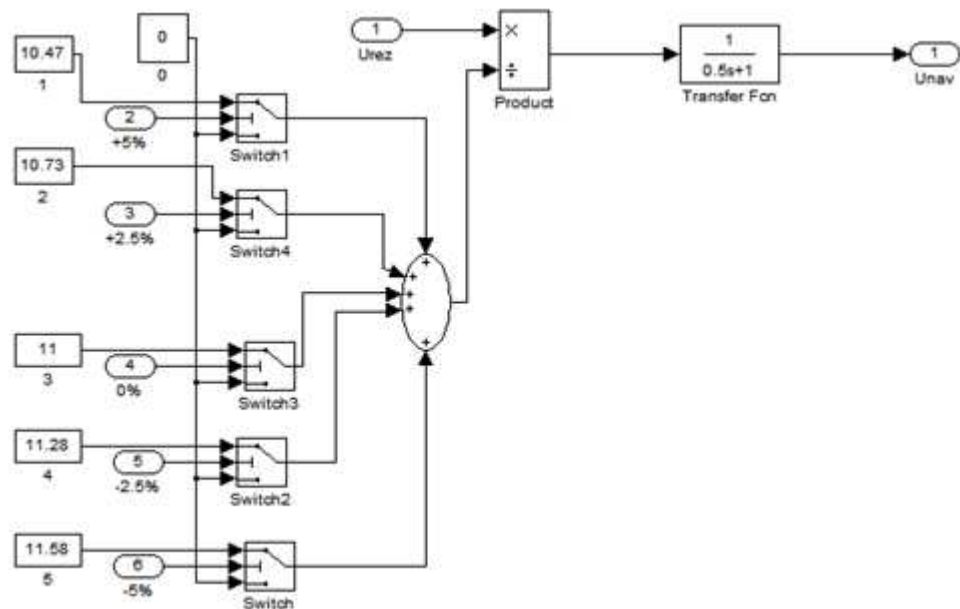


**Рисунок 4.17. - Модель силового трансформатора зі змінним коефіцієнтом перетворення потужності трансформатор**

Використовується шунтова складова напруги, яка випереджає напругу живлення на  $90^\circ$  (сигнал  $V_{ka}$  (підсилення напруги)). Напруга, що створюється в первинній обмотці силового трансформатора, досягає певного кута зсуву  $g$  між напругою в мережі. Це залежить від величини бічного збільшення напруги.

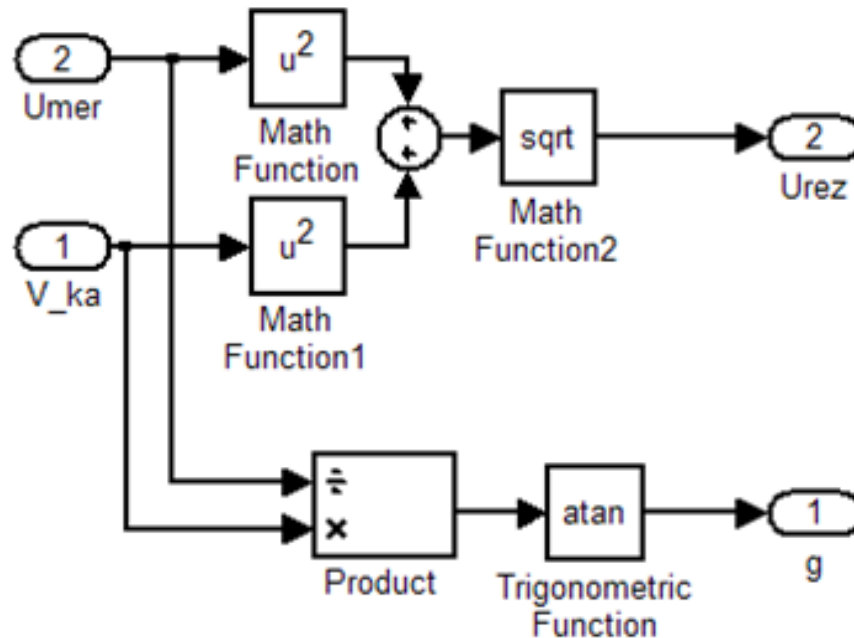


**Рисунок 4.18. - Структура блоку Sum U визначає напругу, що розвивається в первинній обмотці трансформатора струму**

Графіки часу зростання напруги показані на рисунках 4.19-4.22.

На рисунках:

$U_{\text{мер}}$  - напруга мережі, кВ.

$U_{\text{нав}}$  - напруга навантаження.

$U_{\text{доб}}$  – вихідна напруга ТПР, кВ.

$Q$  - значення реактивного струму регулюючої частини енергосистеми, кВА ,

$U_{\text{HV}}$  — напруга, що створюється в обмотці високої напруги трансформатора струму, кВ.

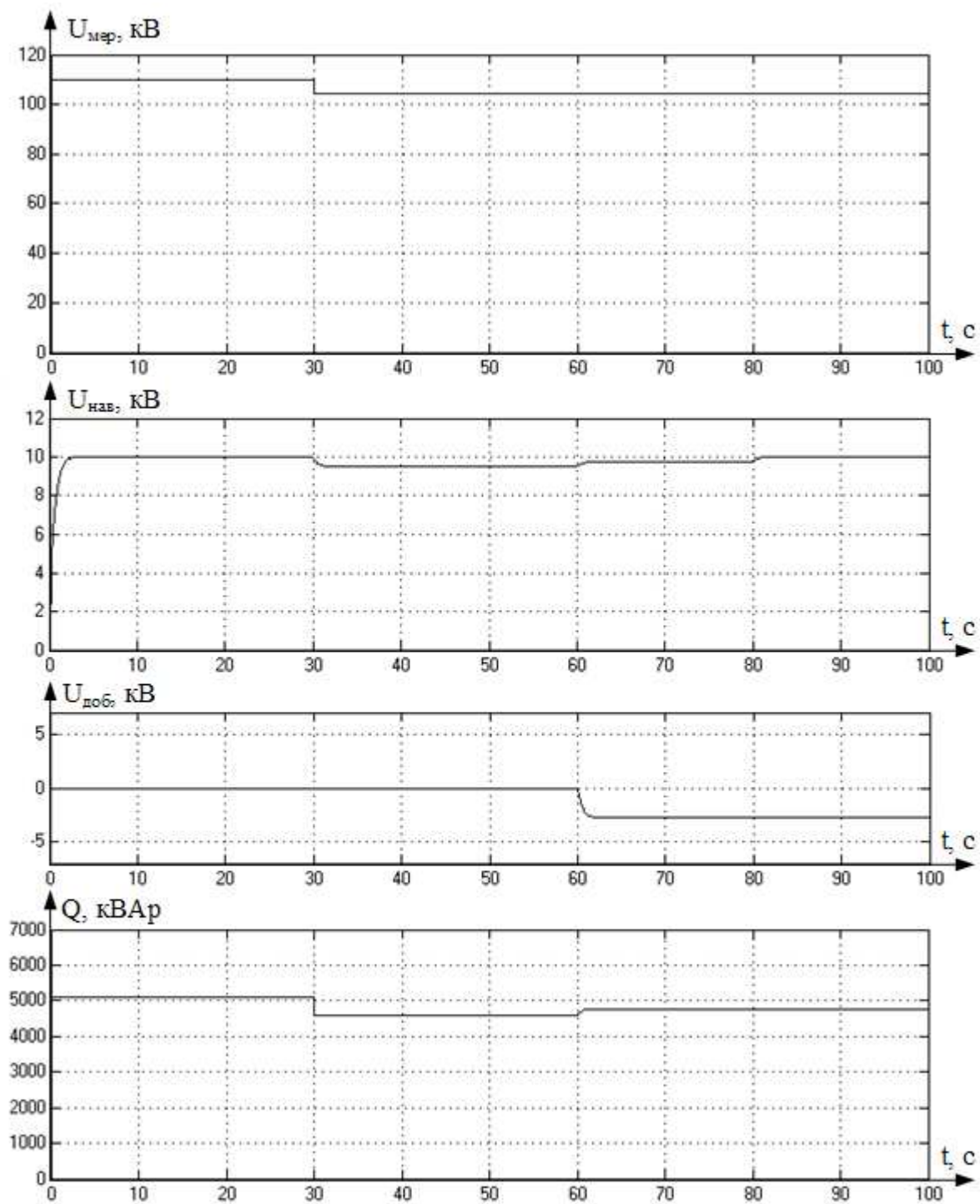


**Рисунок 4.19. - Графіки роботи системи регулювання градієнта  
напруги електричної мережі від 110 кВ до 102 кВ**

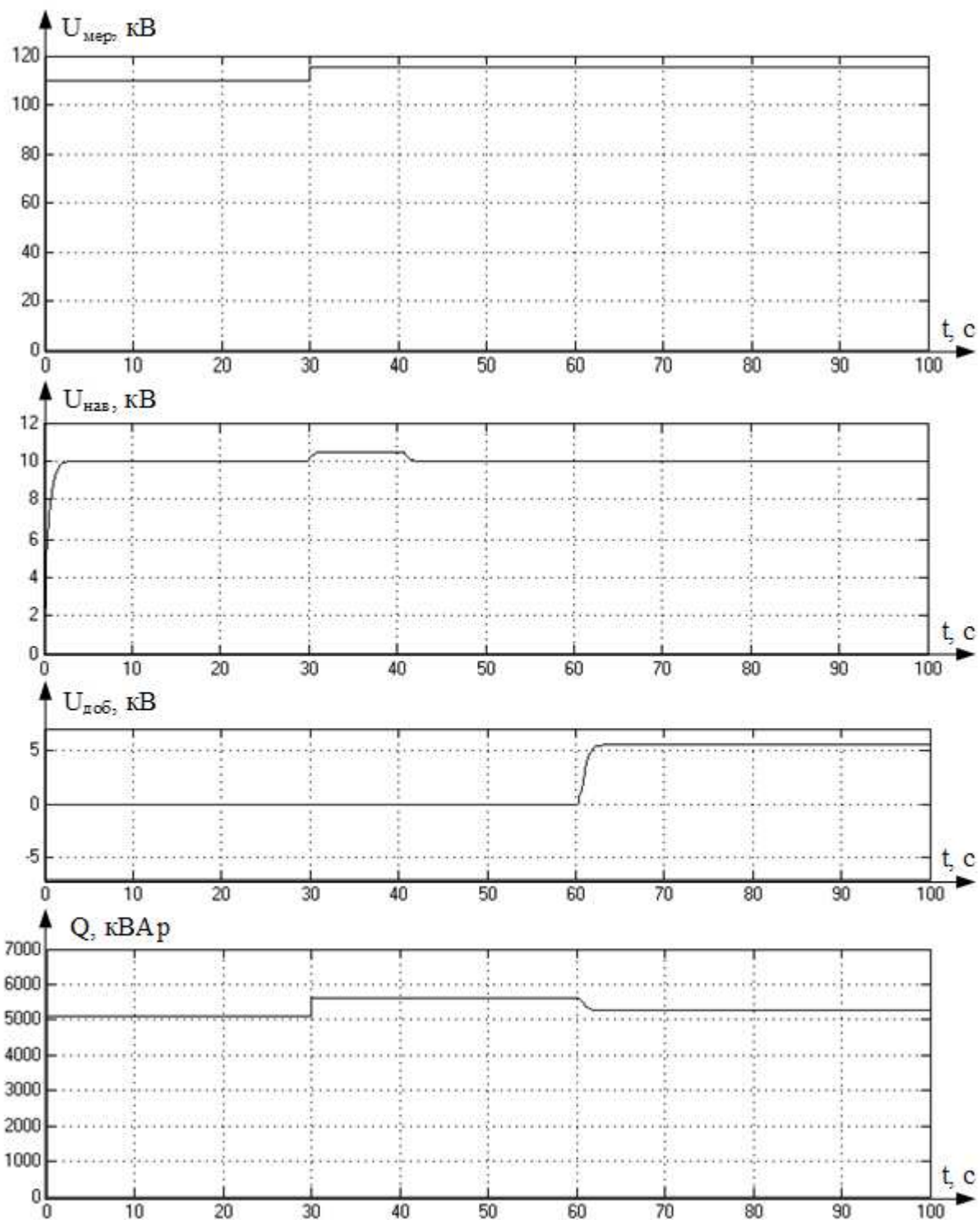


**Рисунок 4.20 - Графіки роботи системи градієнтного регулювання  
напруги мережі від 110 кВ до 114 кВ**

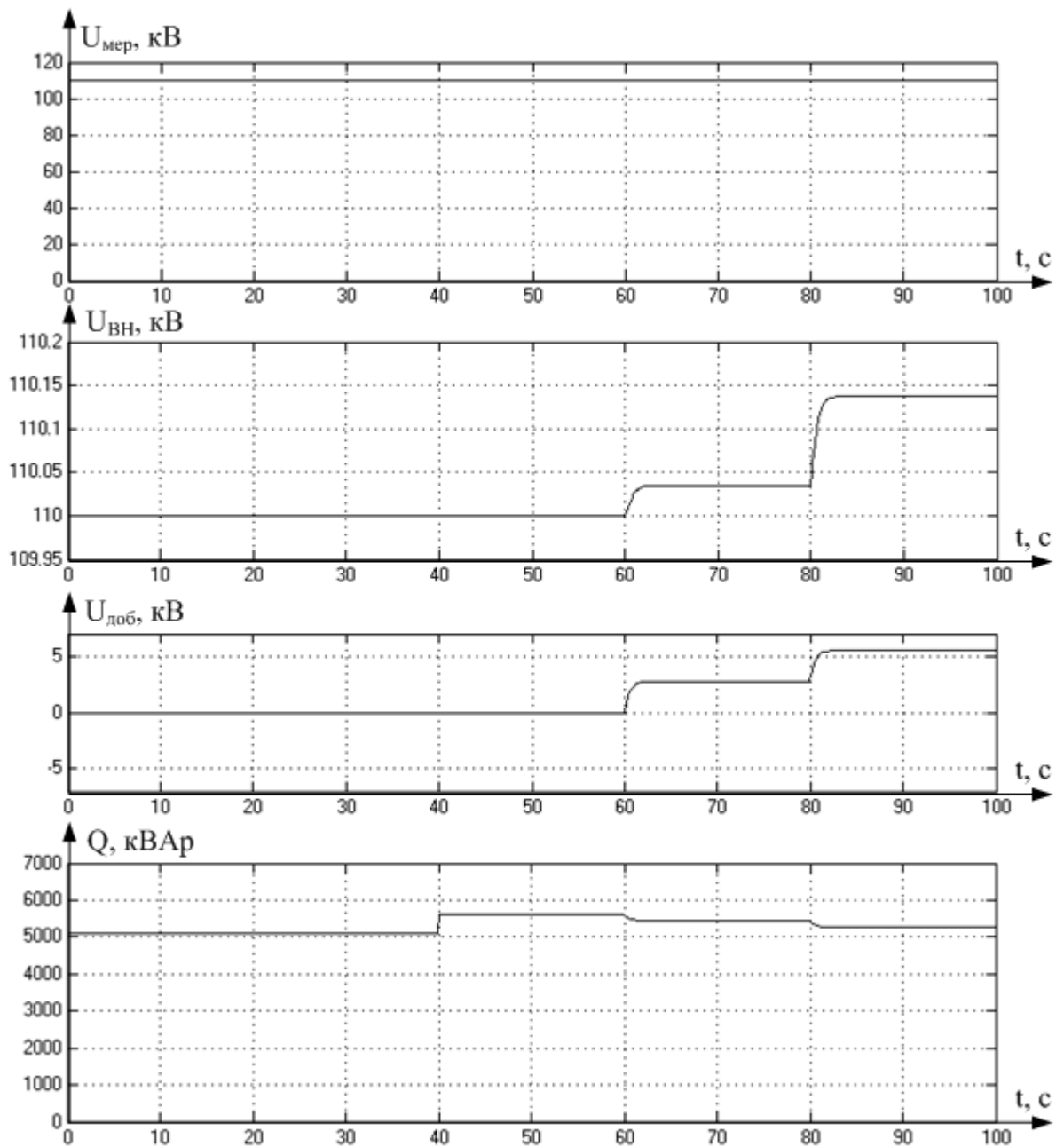


**Рисунок 4.21. - Графіки роботи системи при використанні індуктивних навантажень**

Було обрано для використання обчислювальну технологію ode45 (Dormand-Prince), рекомендовану для моделювання складних нелінійних систем. Щоб перетворити імпульсні сигнали в потенційні сигнали для правильного моделювання блоку, у вікні властивостей пакета Simulink (вимкнути автоматичне визначення логічних сигналів) логіка сигнал вимкнено.

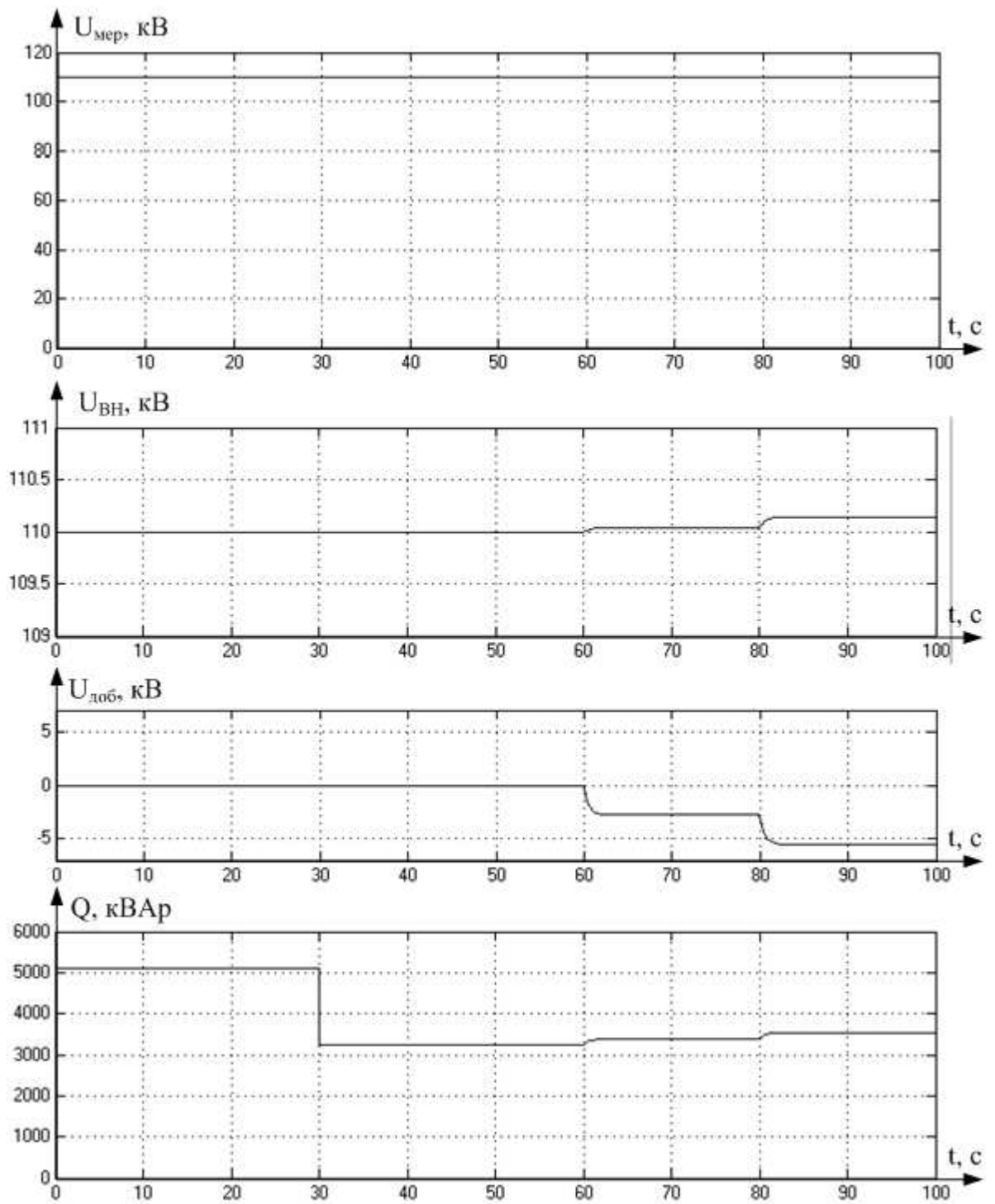


**Рисунок 4.22. - Схема роботи системи керування, що значно знижує індуктивні навантаження**

Порівнюючи результати моделювання, можна зробити висновок, що використання запропонованої системи регулювання напруги зменшує кількість перемикачів механічного відводу трансформатора струму, а також

покращує роботу електромережі. При цьому середнє значення напруги навантаження також знаходиться в допустимих межах.

#### **4.3.Висновки**

1. Застосувавши програмний пакет Matlab Simulink створено модель автоматичного регулятора напруги, яка дозволяє визначити кількість гілок керування вертикальної та горизонтальної системи регулювання напруги та чутливу зону регулятора відповідно до конфігурації компонента.

2. Методами комп'ютерного моделювання досліджено роботу системи автоматичного керування вертикального та горизонтального регулюючого трансформатора напруги при збуренні напруги та навантаження енергосистеми. Це дозволяє визначити динаміку системи керування.

## 5. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

### 5.1 Схемна реалізація регулятора напруги

Технічна реалізація підключення регулятора до зовнішніх пристроїв, як показано на рис. 5.1 Для вирішення задачі за цим методом контролер потребує 12 незалежних входів, 3 аналогових входу та 4 незалежних виходу. Потужний і компактний контролер Zelio SR3B261BD повністю відповідає вимогам [3].

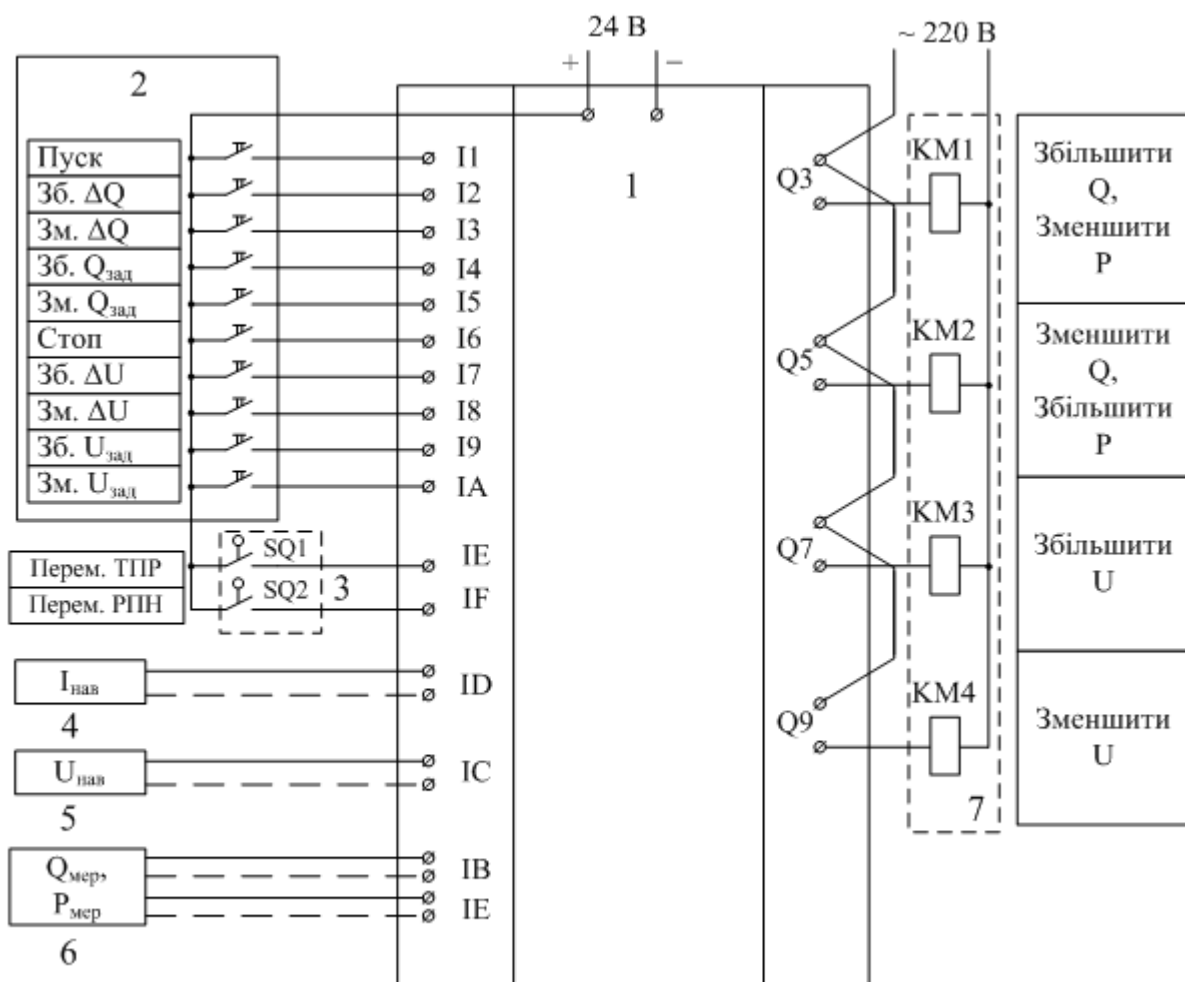


**Рисунок 5.1. - Периферійне обладнання та мікропроцесорний  
контролер САК вертикального та горизонтального регулюючого  
трансформатора напруги  
Схема підключення**

1 – Мікроконтролер з двома блоками управління на базі панелі оператора Zelio SR3B261BD XBT PM027 . Тому встановлюється –сигнал , який збільшує ( $Z_b$ ) або зменшує ( $Z_m$ ) параметр 3 – датчик перемикання РПН трансформатора. 4 – Датчик струму навантаження підстанції з вихідним сигналом від 0 до 10 В. 5 – Пристрій датчиків напруги споживачів з вихідними сигналами від 0 до 10 В. 6 – сигнал мА від датчика потужності блоку керування енергосистемою, вихід 4-20. 7 - контактор ланцюга керування двигуном перемикача РПН.

## **5.2 Програмна реалізація регулятора напруги**

Програму для роботи контролера як регулятора напруги розроблено на мові функціональних блок-схем FBD [3]. На цьому показано список програм контролера (рис. 5.2).

Програма використовує блоки таймера B63, B64, B65 і B66 для встановлення затримки генерації сигналу переходу. У блоках компаратора B05-B07 і B55-B58 вхідні сигнали ID і IV порівнюються з константою 5 В, встановленою в блоці B06, і визначається номінальний струм похідної. Під час формування сигналу перемикання інформація про знак різниці записується в тригери B70, B84 (реактивна потужність) і B90, B96 (напруга споживання), які після перемикання скидаються і видають індивідуальні тригерні сигнали . . Електричні перемикачі IG та IH вхідні датчики . Цей сигнал також скидає сигнал перемикання таймера затримки появи та скидає програму. При цьому програмне забезпечення контролера буде ініціалізовано, а сигнали датчиків перемикання будуть об'єднані в логічний блок АБО B50, незалежно від того, який пристрій використовується для перемикання і який канал управління активовано.

У режимі перемикання час між тактовими імпульсами більший, ніж у режимі очікування. Цей час є часом, необхідним для завершення циклу перемикання, і залежить від розміру та конструкції пристрою РПН.

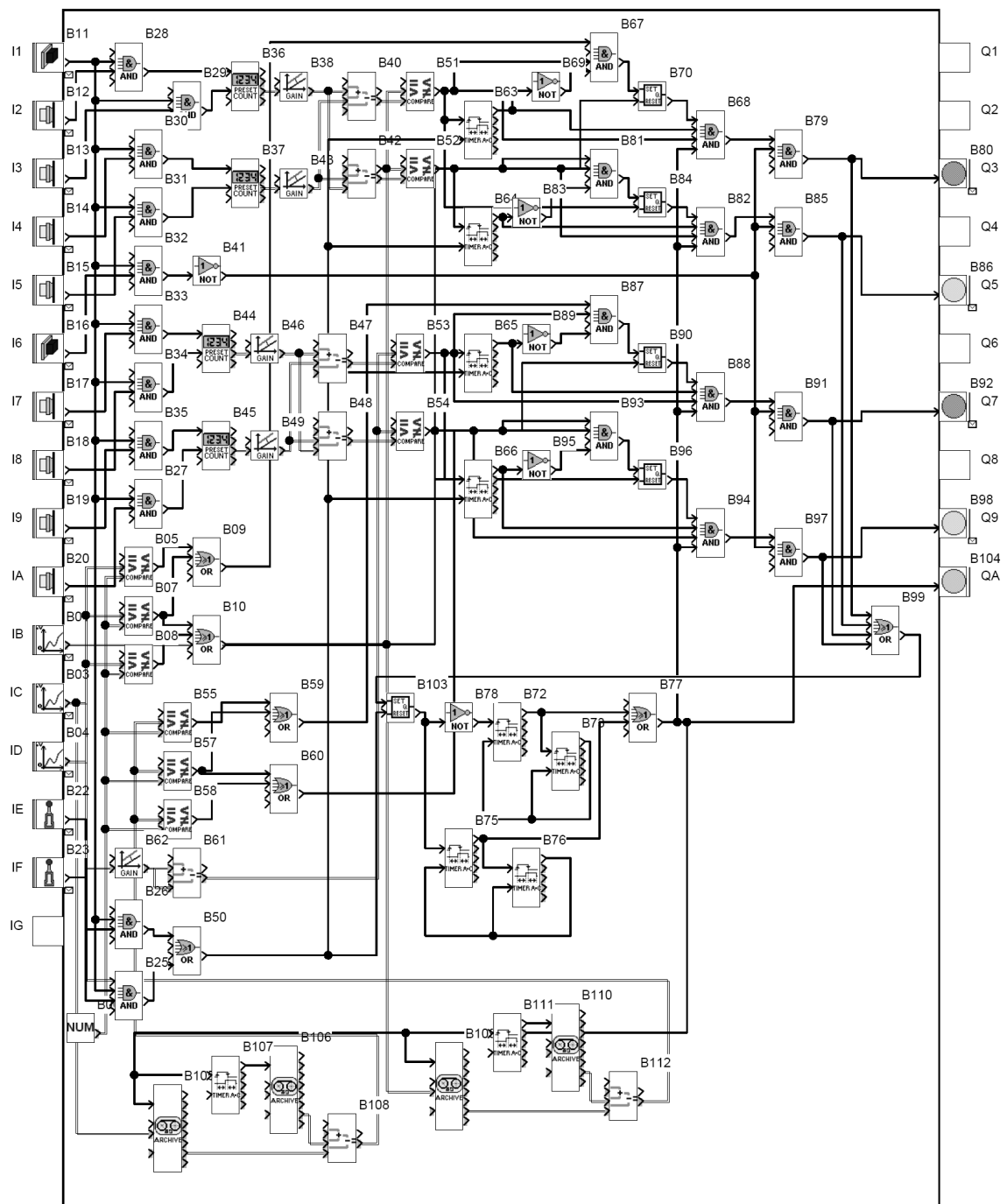


**Рисунок 5.2. - Програмне забезпечення мікропроцесорного регулятора напруги (FBD) на базі контролера Zelio SR3B261BD**

Функціональні блоки таймера B72, B73, B75, B76, логічні елементи АБО B77 і NOT B78, тригер RS B103 реалізують генератор тактових імпульсів (з блоками таймера B72 і B73), який може працювати в режимі очікування. Змінний режим (таймери B75 і B76 заблоковані).

Використовуйте архіви для вимірювання напруги та реактивної потужності. Розглянемо роботу диференціатора в каналі вимірювання напруги. На передньому фронті тактового імпульсу GTI реєстратор B105 записує значення напруги навантаження в момент часу  $t_1$ . Під час затримки  $\Delta t$  (визначеної таймером B107) наростаючий фронт тактового імпульсу також *включається в* фіксатор (регістр) регістра B106.  $t_2 = t_1 + \Delta t$  записує значення напруги навантаження. У корпусі B108 визначається різниця між двома значеннями, записаними реєстратором, її знак відповідає напрузі обвідної, отриманої під час навантаження. Таким же чином розраховується диференціальний знак огибаючої кривої реактивної потужності [3].

Використовуйте числа B36 і B44 для визначення розрахункового значення поля чутливості регулятора до реактивної потужності та напруги споживача, а за попередньо встановленим лічильником визначте значення B37 і цифри. B45 визначено. Активна потужність, реактивна потужність, напруга навантаження. В акумуляторах B40, B42 і B47, B48 встановіть верхнє і нижнє значення допуску регульованих параметрів і порівняйте ці значення з фактичними значеннями за допомогою B51-B54. Реактивна потужність, струм і напруга навантажень в блоках B01 і B61. Останнім функціональним блоком є суматор, який розраховує падіння напруги для заданого струму навантаження. Тому колекторний вхід B61 підключається до аналогових входів для напруги B03 і струму B04.

Якщо регульовані параметри перевищують допустимі межі, в коробці передач повинен бути створений сигнал для зміни відповідної швидкості під навантаженням. У разі прямої передачі на вихід регулятора відхилення за межі допустимого діапазону параметрів також повинні виникати після часу затримки сигналу, встановленого таймерами B63, B64, B65, B66. При цьому параметри не прагнуть повернутися в зону чутливості (похідна параметра затримки дорівнює 0 або має знак, що відповідає напрямку параметра вище межі допуску). Цей режим I управляється логічними блоками B68, B82, B88 і B94.

Пристрій блокується при подачі окремого сигналу з панелі оператора на вхід I6 (рисунок 5.1).

### **5.3. Висновки**

Блок-схема інструменту мікропроцесора та програмне забезпечення ZelioSoft , яке застосовано для реалізації функції регулятора системи автоматичного керування трансформатором дозволяє підвищити гнучкість і спрощує налаштування шляхом регулювання вертикальної та горизонтальної напруги.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі основними результатами є:

1. Проаналізовано існуючі методи та інструменти регулювання поздовжнього та поперечного натягу. Вони призначені для незалежного регулювання напруги або струму вздовж ліній електропередачі та мають обмежену здатність впливати на регулювання системи живлення, тому не можуть вирішити проблему одночасного регулювання. з цих налаштувань.

2. Враховуючи значення активної потужності і реактивної потужності, врахувати закон регулювання трансформаторної групи при регулюванні поздовжнього і поперечного напруг. Це забезпечує регульовану напругу відсічення як функцію вхідної напруги та струму. Споживання та бічні коригування здійснюються на основі потоків активної та реактивної потужності.

3. Математична модель системи автоматичного керування поздовжнім і поперечним регулюючими трансформаторами напруги з використанням законів і передатних функцій, розроблених на основі структури регулюючого пристрою, що дозволяє комп'ютерне моделювання системи та оцінку динамічних характеристик.

4. Синтез систем автоматичного керування трансформаторами для регулювання напруги навантаження з використанням математичних блоків числових масивів, дає змогу автоматизувати структурно-алгоритмічний процес проектування відповідних мікропроцесорних засобів.

5. Відповідно до правил керування комплексом регулювання поздовжнього та поперечного тиску структурна схема регулюючого пристрою системи керування об'єднана на основі промислових компонентів.

6. На основі розробленої математичної моделі системи автоматичного керування створено модель автоматичного регулятора напруги в середовищі Matlab Simulink дозволяє отримати параметри налагодження контролера.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Simulink - Simulation and Model-Based Design. *MathWorks - Maker of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink*. URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> (date of access: 02.12.2024).
2. Tony R. Kuphaldt. Перетворювачі змінного струму. *LibreTexts - Ukrayinska*. URL: <http://surl.li/jyxrpi> (дата звернення: 03.12.2024).
3. Zelio Logic | Schneider Electric  $\text{£}\text{£}^{\circ}\text{Ñ}$   $\text{£}^{\circ}\text{Ñ}$   $\text{£}\frac{1}{2}\text{£}^{\circ}$ . *Access Denied*. URL: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/531-zelio-logic/#products> (date of access: 02.12.2024).
4. Автоматизація виробничих процесів: навч. посіб. / Б. М. Гончаренко, С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова [та ін.]. - Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2016. - 352 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5806> (дата звернення: 30.11.2024).
5. Автоматичне проектування пристроїв автоматики : метод. вказ. для виконання самост. роб. студ. денної та заочної форми навчання за спец. 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / [уклад. : Л. Г. Віхрова, М. С. Мірошніченко, О. М. Сербул] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. автоматизації виробничих процесів. - Кропивницький : ЦНТУ, 2021. - 17 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/10664> (дата звернення: 11.11.2024).
6. АРХІТЕКТУРА ТА МЕТОДИ СИНТЕЗУ ПЛІС ПРИСТРОЇВ. *eNTUKhPIIR :: Репозитарій НТУ 'ХПІ' :: Головна*. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/7abb5092-572e-4bd3-8742-6f4e4356cd15/content>. (дата звернення: 24.11.2024).
7. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.

URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/12089> (дата звернення: 05.11.2024).

8. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник. Львів : Афіша, 2001. 424 с.

9. Васильєва Л.В., Гончаров О.А., Коновалов В.А., Соловійова Н.А. Чисельні методи розв'язання інженерних задач в пакеті MathCAD. Курс лекцій та індивідуальні завдання: Навч. посібник з дисципліни «Інформатика» для студентів вищих навчальних закладів. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – 108 с. URL: <http://surl.li/xxwjau> (дата звернення: 07.11.2024).

10. ГКД 341.004.001594 Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 65750 кВ. 05.09.1994. Діючий. Розробник Інститут "Укренергомережпроект"

11. ДСТУ ГОСТ 33263:2018 Роз'єднувачі, короткозамикачі, віддільники, заземлювальні високовольтні для залізничного рухомого складу. Вимоги щодо безпеки і методи контролювання (ГОСТ 33263:2015, IDT)

12. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання : навч. посіб. / А. Ю. Орлович, П. Г. Плешков, О. А. Козловський [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.  
URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/10330> (дата звернення: 05.11.2024).

13. Електричні мережі та системи. Режим роботи розімкнених мереж [Текст]: Навчальний посібник з дисципліни для всіх форм навчання та студентів іноземців напряму підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”/Уклад. В.В.Кирик.-К.: НТУУ «КПІ», 2014.- 130с.

14. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : Навч. посіб. для студентів вищ. техн. навч. закл., які навчаються за напрямом "Е. Київ : Либідь, 2005. 680 с.

15. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с. URL: [http://library.kpi.kharkov.ua/files/new\\_postupleniya/zhidetskyu.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/new_postupleniya/zhidetskyu.pdf) (дата звернення: 05.11.2024).

16. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с. URL: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Zhidetskiy\\_2000\\_352.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Zhidetskiy_2000_352.pdf) (дата звернення: 05.11.2024).

17. Каліч, В. М. Вимірювання неелектричних величин електричними методами. Вимірювання переміщення та температури : навч. посіб. / В. М. Каліч, Р. В. Жесан, М. С. Мірошніченко ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2022. - 60 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/12842> (дата звернення: 17.11.2024).

18. Клендій П., Потапенко М., Корчемний М. Теоретичні основи автоматики : навч. посіб. Тернопіль : Богдан, 2011. 304 с.

19. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 09.11.2024).

20. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 09.11.2024).

21. Конституція України : від 28.06.1996 № 254к/96-ВР : станом на 1 січ. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text> (дата звернення: 10.12.2024).

22. Кривий С. Л. Дискретна математика : вибр. питання : навч. посіб. для студ. ВНЗ. Київ : Києво-Могил. акад., 2007. 572 с.

23. Лазарєв Ю. Ф. Довідник з MATLAB / Електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування. – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с. URL: [https://cions.kpi.ua/Arhiv/Lazarev/dovidnyk\\_Matlab.pdf](https://cions.kpi.ua/Arhiv/Lazarev/dovidnyk_Matlab.pdf) (дата звернення: 27.11.2024).

24. Лазарєв Ю. Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. – Київ: НТУУ "КПІ", 2011. – 421 с. URL: [https://elprivod.nmu.org.ua/files/mathapps/mds\\_matlab.pdf](https://elprivod.nmu.org.ua/files/mathapps/mds_matlab.pdf) (дата звернення: 08.11.2024).

25. Міненерговугілля України. Правила Улаштування Електроустановок. *Ок.Закон.*

URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>. (дата звернення: 17.11.2024).

26. НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ. ТРАНСФОРМАТОРИ ВИМІРЮВАЛЬНІ. Частина 1. Трансформатори струму (ІЕС 6004451:2003, ІДТ) ДСТУ ІЕС 6004451:2008 Видання офіційне. Київ ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ 2010.

27. Норми технологічного проектування енергетичних систем і електричних мереж 35 кВ і вище: СОУ5Н ЕЕ 40.15001002275101:2014 / М5во палива та енергетики України. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М5во пали5 ва та енергетики України, 2014. – 60 с.

28. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.  
URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5881> (дата звернення: 05.11.2024).

29. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 07.11.2024).

30. Основи метрології та вимірювальної техніки: в 2 т. / М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін. — [під ред. Б. Стадника]. — Львів.: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. — Т.1: Основи метрології. — 530 с.

31. Паламар М., Стрембіцький М., Паламар А. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів: навч. посіб. Тернопіль: Терноп. нац. техн. ун-т ім. Ів. Пулюя, 2018. 150 с.  
URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/222449839.pdf>. (дата звернення: 28.11.2024).

32. Перетворювачі змінного струму та перетворювачі змінного/постійного струму. *phoenixcontact*.  
URL: <https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/produkcija/energy-monitoring/current-transducers>. (дата звернення: 03.12.2024).

URL: [http://www.micro1.ua/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=garden\\_flypage.tpl&product\\_id=71&category\\_id=109&option=com\\_virtuemart&Itemid=71&lang=ru](http://www.micro1.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=71&category_id=109&option=com_virtuemart&Itemid=71&lang=ru) (дата звернення: 02.12.2024).

34. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок: НПАОП 40.151.32501 (ДНАОП 0.0051.32501). – Х.: Форт, 2013. – 99 с.

35. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Від 25.07.2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 12.11.2024).

36. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 18.10.2024).

37. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 12.11.2024).

38. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 05.11.2024).

39. Про систему громадського здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 07.11.2024).

40. Системи керування та обліку в електроенергетиці та електромеханіці: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 8(7).05060201 «Гідроенергетика» рівня «магістр» та «спеціаліст» всіх форм навчання / Скалько Ю. С.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – 138 с. URL: <http://surl.li/ejdsae> (дата звернення: 15.11.2024).

41. СОУ5Н ЕЕ 20.178:2008 Схеми принципові електричні розподільчих установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова. Дата прийняття 14.05.2008 затверджуючий документ Наказ від 14.05.2008 № 262 СОУ (Стандарт Організації України)

42. Схемотехніка: Пристрої цифрової електроніки : підручник / В. Рябенський та ін. Київ, 2016. URL: <https://eds.kpi.ua/wp->

[content/uploads/2015/05/CT\\_tom\\_1\\_електронне\\_видання.pdf](content/uploads/2015/05/CT_tom_1_електронне_видання.pdf). (дата звернення: 05.10.2024).

43. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. / [П. Г. Плешков, С. В. Серебренніков, К. Г. Петрова] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. тех. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2016. – 163 с. URL:<https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/7946> (дата звернення: 06.11.2024).

44. Технології конструювання сучасних конкурентоспроможних комплексів керування стохастичним рухом об'єктів : монографія / Л. М. Блохін, С. І. Осадчий, О. К. Дідик [та ін.]. – Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2023. – 292 с. URL:<https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13584> (дата звернення: 12.11.2024).

45. Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму ДСТУ ІЕС 6004451:2008/Київ, Держ5 споживстандарт України, 2010.

46. Трансформатори силові. Типова інструкція з експлуатації: СОУ 40.1521677681507:2009 / М5во палива та енергетики України. – Офіц. вид. – К.: ГРІФРЕ: М5во палива та енергетики України, 2009. – 111 с.

47. Учасники проектів Вікімедіа. Міжнародний електротехнічний словник – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Міжнародний\\_електротехнічний\\_словник](https://uk.wikipedia.org/wiki/Міжнародний_електротехнічний_словник) (дата звернення: 10.11.2024).

## **Д О Д А Т К И**