

## СИСТЕМА ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ РЕГУЛЮВАННЯ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

*В. В. Грабко, д.т.н., проф., С. М. Левицький, к.т.н., доц.  
Вінницький національний технічний університет  
Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна  
E-mail: grabko@vstu.vinnica.ua, leviserg@rambler.ru*

Запропоновано систему віддаленого керування пристроєм регулювання під навантаженням трансформаторної підстанції із застосуванням інтегрованого середовища розробки SCADA-систем і нечітким регулятором для визначення часу формування регулюючого впливу, що дозволяє збільшити надійність та швидкодію систем керування трансформаторами.

**Ключові слова:** регулювання, віддалений доступ, трансформатор.

**Вступ.** Сучасний етап розвитку електроенергетики зумовив необхідність застосування простого і потужного середовища для наскрізної спостережуваності функціонування розподільчого електромережевого комплексу регіональних електропостачальних компаній у просторі їх систем керування трансформаторними підстанціями [1]. Крім того, важливо вдосконалювати не лише інтегроване середовище систем нагляду та оперативно-диспетчерського управління трансформаторними підстанціями, але й елементну базу таких систем на нижніх рівнях з метою збільшення їх надійності. Отже, існує проблема побудови таких систем керування трансформаторами, які мають високий ступінь інтеграції в системи оперативно-диспетчерського управління, належну надійність та швидкодію.

**Аналіз попередніх досліджень.** Наукове вирішення питання вдосконалення систем віддаленого керування трансформаторними підстанціями на регіональному рівні представлено в роботах [1, 2]. Однак в приведених роботах в основному розглядаються такі протоколи телемеханіки, як ТМ-512, КОМПАС, ГРАНИТ, УТК-1, ТМ-800А та подібні, які не відповідають принципам відкритості та стандартизації інтерфейсів згідно стандарту МЭК 60870-5-104 (2000) [3]. Провідні електротехнічні компанії пропонують комплексне вирішення проблем систем керування трансформаторами в роботах [4, 5]. Однак впровадження рішень, що представлені в цих роботах, на вітчизняних об'єктах є ускладненим через недостатнє фінансування електроенергетичного комплексу (наявність великої кількості пільгових споживачів електроенергії, заборгованостей за спожиту електроенергію й інші причини). Важливість підвищення надійності саме систем керування трансформаторами підкреслюється лідерами-виробниками обладнання електроенергетичних систем [6].

**Мета роботи.** Унаслідок такої тенденції необхідно вирішення проблеми у світлі застосування сучасних технологій передачі інформації та з урахуванням цінного досвіду вітчизняних науковців у сфері створення систем керування трансформаторами. У роботі [7] запропоновано систему керування трансформаторами з пристроями регулювання під

навантаженням (РПН) з інтелектуальним регулятором, однак для вдосконалення її потрібно розробити модель віддаленого керування регулятором та виконавчим пристроєм системи керування, що дозволить збільшити довговічність механічних вузлів пристроїв РПН та надійність систем електропостачання.

**Матеріал і результати дослідження.** Закон регулювання напруги в САК трансформаторами з пристроями РПН, розроблений в [7], має вигляд:

$$u(t) = K_1 \cdot ((U(t) - U_y) - K_2 \cdot (I(t) - I_{\min}));$$

$$K_m = \begin{cases} \frac{U_{i+1}}{U_{n,n}}, \text{ якщо } \begin{cases} u(t) \leq u_{n,3}; \\ u(t - \phi) \leq u_{n,3}; \\ \frac{dU_o}{dt} \leq 0; \end{cases} \\ \frac{U_i}{U_{n,n}}, \text{ якщо } u_{n,3} < u(t) < u_{6,3}; \\ \frac{U_{i-1}}{U_{n,n}}, \text{ якщо } \begin{cases} u(t) \geq u_{6,3}; \\ u(t - \phi) \geq u_{6,3}; \\ \frac{dU_o}{dt} \geq 0; \end{cases} \\ \tau_3 = \text{fuzzy} \left( I, tg \delta, W, C, CO_2, C_n, H_m, R \right), \end{cases} \quad (1)$$

де  $K_m$  – коефіцієнт трансформації трансформатора з РПН;  $u(t)$  – приведена напруга на шинах підстанції з урахуванням струмової компенсації;  $u_{n,3}$ ,  $u_{6,3}$  – нижня і верхня границі зони нечутливості, які задаються з умов надійності;  $U_y$  – уставка регулятора, яка відповідає номінальній напрузі  $U_{ном}$  на шинах підстанції;  $U(t)$  – поточне значення цієї напруги;  $I_{\min}$  – струм, що знімається з шин підстанції в режимі мінімуму навантаження;  $I(t)$  – поточне значення цього струму;  $U_{n,n}$  – напруга на шинах низької напруги трансформатора;  $U_i$  – напруга, що індукуюється в обмотці високої напруги трансформатора при підключенні  $i$ -го відгалуження;  $K_1$  – коефіцієнт, який характеризує чутливість регулятора;  $K_2$  – коефіцієнт, який визначає нахил характеристики зустрічного регулювання;  $\tau_3$  – час затримки сигналу;  $dU_o/dt$  – похідна обвідної контрольованої напруги;  $\Delta U = u_{6,3} - U_{ном} = U_{ном} - u_{n,3}$ ;  $u_{6,31}$ ,  $u_{n,31}$  – верхня й нижня границі зони нечутливості, обумовленої якістю регулювання напруги,  $fuzzy$  – оператор нечіткого логічного висновку,  $I$  – струм електродвигуна приводу,  $tg \delta$  – тангенс кута діелектричних втрат трансформаторного масла,  $W$  – вміст вологи в маслі,  $C$  – сміність масла,  $CO_2$  – вміст розчинених газів  $CO_2$ ,

$C_nH_m$  – вміст розчинених вуглеводнів у трансформаторному маслі,  $R$  – перехідний опір контактів.

Структура системи віддаленого керування пристроєм РПН трансформатора, яка функціонує у відповідності до розробленого закону керування, наведена на рис. 1. На рис. 1: ТС, ТН – вимірювальні трансформатори струму та напруги, ПЛК – програмований логічний контролер, АРМ – автоматизоване робоче місце (оператора), ПП – привод перемикача.

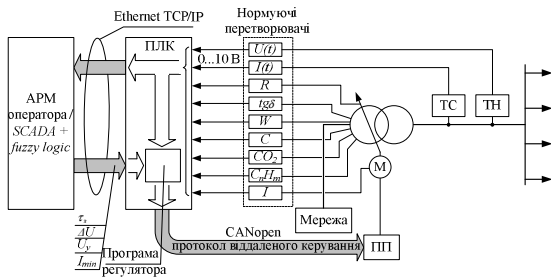


Рисунок 1 – Структурна схема системи віддаленого керування пристроєм РПН

Запропонована структура системи керування володіє високою швидкодією, причому відстань від АРМ оператора до підстанції практично не обмежена за рахунок використання Internet-протоколу TCP/IP. Протокол нижнього рівня, виконаний за принципом розімкненої струмової петлі CANopen, також вигідно вирізняється з-поміж аналогічних за рахунок універсальності та високої швидкодії. Інформація від датчиків стану пристрою РПН та шини споживачів транзитом передаються через внутрішні регістри ПЛК до каналів SCADA-системи. Організація каналів в інтегрованому середовищі розробки SCADA-систем Trace Mode представлена на рис. 2 [8].

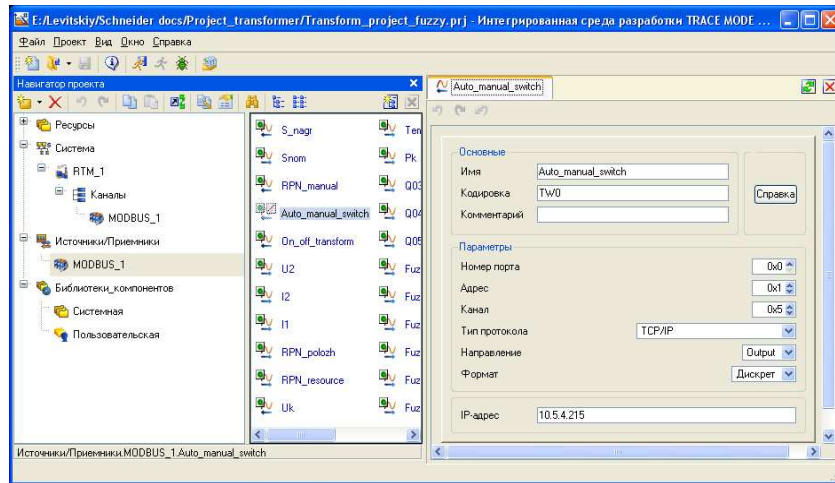


Рисунок 2 – Вікно налагодки каналів системи віддаленого керування пристроєм РПН в інтегрованому середовищі розробки

Для обчислення часу затримки на формування сигналу перемикачання пристроєм РПН відповідно до даних датчиків стану потрібно вирішити нечіткий

логічний вираз  $\tau_3 = fuzzy(I, tg \delta, W, C, CO_2, C_nH_m, R)$ , який у розширеному вигляді представлений системою рівнянь (2):

$$\begin{cases} \mu^{d1}(d) = [\mu^H(X_1)\mu^H(X_2)\mu^H(X_3)\mu^H(X_4)\mu^H(X_5)\mu^H(X_6)\mu^H(X_7)] \vee \\ \vee [\mu^H(X_1)\mu^H(X_2)\mu^C(X_3)\mu^H(X_4)\mu^H(X_5)\mu^C(X_6)\mu^H(X_7)]; \\ \mu^{d2}(d) = [\mu^C(X_1)\mu^H(X_2)\mu^C(X_3)\mu^H(X_4)\mu^H(X_5)\mu^C(X_6)\mu^H(X_7)]; \\ \mu^{d3}(d) = [\mu^C(X_1)\mu^C(X_2)\mu^C(X_3)\mu^H(X_4)\mu^C(X_5)\mu^C(X_6)\mu^C(X_7)]; \\ \mu^{d4}(d) = [\mu^{BC}(X_1)\mu^C(X_2)\mu^C(X_3)\mu^C(X_4)\mu^C(X_5)\mu^{BC}(X_6)\mu^C(X_7)]; \\ \mu^{d5}(d) = [\mu^{BC}(X_1)\mu^{BC}(X_2)\mu^{BC}(X_3)\mu^C(X_4)\mu^C(X_5)\mu^{BC}(X_6)\mu^C(X_7)]; \\ \mu^{d6}(d) = [\mu^B(X_1)\mu^{BC}(X_2)\mu^{BC}(X_3)\mu^B(X_4)\mu^B(X_5)\mu^B(X_6)\mu^C(X_7)] \vee \\ \vee [\mu^B(X_1)\mu^B(X_2)\mu^B(X_3)\mu^B(X_4)\mu^B(X_5)\mu^B(X_6)\mu^B(X_7)]. \end{cases} \quad (2)$$

де  $\mu(d)$  – нечіткий логічний висновок за величиною часу затримки, отриманий відповідно до значень вхідних параметрів згідно Гаусівської функції належності,  $X_i$  – вхідні параметри нечіткої моделі (відповідно до зазначених у законі керування (1)).

Розв'язок цієї системи рівнянь у режимі реального часу знаходиться шляхом використання функ-

ції нечіткого регулятора в середовищі розробки. Для її налагодження створюється окрема програма з указівкою змінних, що оцінюватимуться в нечіткому регуляторі FZCTR для пошуку розв'язку (Система / Канали / Створити компонент / Програма / FBD діаграма / FBD блоки / Регулювання / Нечіткий регулятор) [8]. У параметрах настройки нечіт-

кого регулятора по кожному каналу вказуються координати центру ваги Гаусівської функції належності та її розтяг по кожному каналу за (1).

Обробка даних у системі віддаленого керування пояснюється узагальненим алгоритмом, наведеним на рис. 3.

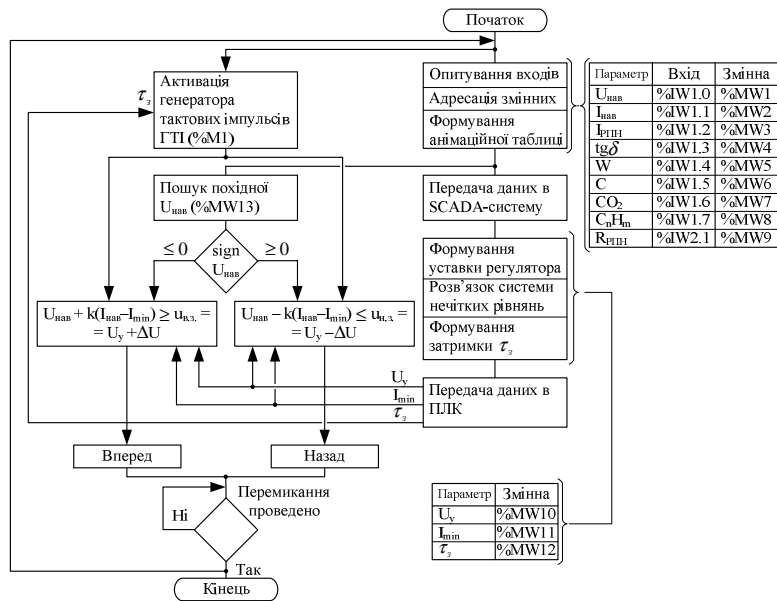


Рисунок 3 – Узагальнений алгоритм роботи системи віддаленого керування

При розробці програмного забезпечення ПЛК та його узгодженні із SCADA-системою слід використовувати анімаційну таблицю, складену за зразком. Це дозволить спростити процедуру адресації тегів.

Графічний інтерфейс проекту системи віддаленого керування пристроєм РПН силового трансформатора представлено у двох вікнах, приведених на рис. 4, поєднаних між собою.

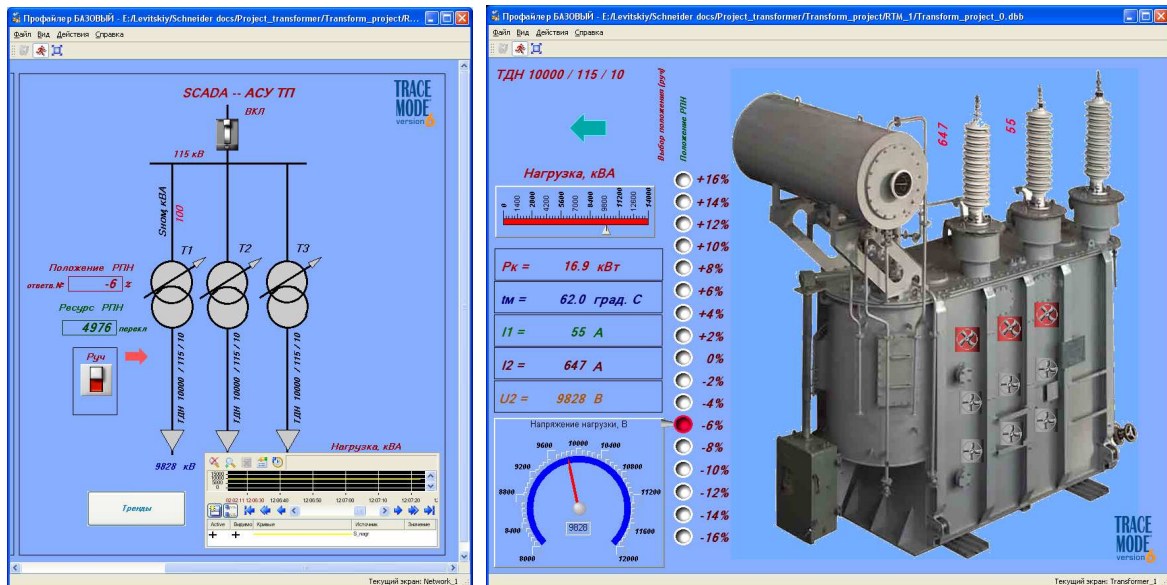


Рисунок 4 – Екрани SCADA-системи АРМ оператора

Головне вікно проекту АРМ оператора системи є базовим, а вікно моніторингу стану трансформатора, пристрою РПН, системи охолодження, параметрів шини споживачів є підпорядкованим і викликається з базового натисненням на символ відповідного трансформатора. Система має також функцію обчислення залишкового ресурсу комутацій пристроєм РПН. Приведену структуру легко

адаптувати до будь-якої частини системи електропостачання.

Обчислене за допомогою функції FZCTR значення часу затримки на перемикання пристрою РПН, а також задане значення напруги на вводах споживачів, значення зони нечутливості й струму в режимі мінімуму навантаження у вигляді слів передаються в програму ПЛК. Алгоритм роботи програми ПЛК може бути представлений у вигляді структурної схеми на рис. 5.

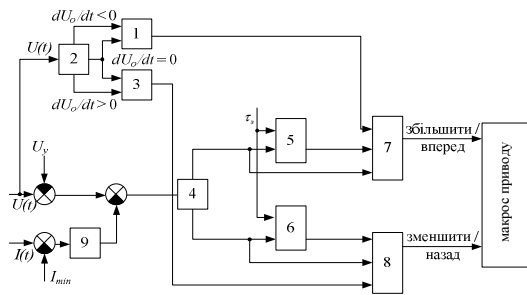


Рисунок 5 – Структурна схема алгоритму програми ПЛК

На рис. 5: 1, 3 – логічні функції АБО; 2 – модуль обчислення знаку похідної опіаючої напруги на основі функції PID; 4 – компаратор; 5, 6 – блоки затримки на основі функції керованого таймеру; 7, 8 – логічні функції І; 9 – блок введення вагового коефіцієнту струму навантаження в закон керування).

Програма ПЛК розроблена на мові списку інструкцій у відповідності до приведеної структурної схеми. При створенні програми використано мережевий макрос дистанційного керування приводом РПН згідно [9].

Запропонована система віддаленого керування пройшла відладку на кафедрі електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету сумісно з компанією Schneider Electric Ukraine і готова до впровадження.

**Висновки.** Запропоновано систему віддаленого керування пристроєм регулювання під навантаженням (РПН) трансформаторної підстанції із застосуванням інтегрованого середовища розробки SCADA-систем, яка передбачає формування варіативної затримки сигналу перемикаання на підставі нечіткого логічного висновку з оцінки параметрів стану РПН і дозволяє покращити якість регулювання напруги силовим трансформатором.

Для приводу пристрою РПН запропоновано використання мережевого макросу з протоколом віддаленого доступу, що дозволяє збільшити швидкодію систем керування трансформаторами.

## СИСТЕМА УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

*В. В. Грабко, д.т.н., проф., С. М. Левицкий, к.т.н., доц.  
Винницкий национальный технический университет  
Хмельницкое шоссе, 95, 21021, г. Винница, Украина  
E-mail: grabko@vstu.vinnica.ua, leviserg@rambler.ru*

Предложена система удаленного управления устройством регулирования под нагрузкой трансформаторной подстанции с использованием интегрированной среды разработки SCADA-систем и нечётким регулятором для определения времени формирования регулирующего воздействия, что позволяет увеличить надёжность и быстродействие систем управления трансформаторами.

**Ключевые слова:** регулирование, удалённый доступ, трансформатор.

## THE REMOTE CONTROL SYSTEM BY DEVICE OF REGULATION UNDER LOAD OF POWER TRANSFORMER SUBSTATION

*V. Grabko, D.Sc. (Eng), Prof., S. Levitskyi, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.  
Vinnytsya National Technical University  
Khmelnyske shose, 95, 21021, Vinnytsya, Ukraine  
E-mail: grabko@vstu.vinnica.ua, leviserg@rambler.ru*

The remote control system of device of regulation under load of power transformer substation with use of integrated development environment of SCADA-system and fuzzy regulator for determination of duration of forming of regulative effort, that allows to increase reliability and fast-acting of control system by transformers, is given in the paper.

**Key words:** regulation, remote access, transformer.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Информационно-измерительная система центра управления электрических сетей: монография / С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е.И. Гликин. – М.: Машиностроение, 2009. – 176 с. – ISBN 978-5-94275-506-5.
2. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике: научное издание / В.А. Баринов, А.З. Гамм, Ю.Н. Кучеров и др; Ред. Ю.Н. Руденко, В.А. Семенов. – М.: МЭИ, 2000. – 647 с. – ISBN 5-7046-0528-1.
3. IEC 60870-5-101:2003 Telecontrol equipment and systems. Part 5. Transmission protocol. Section 101. Companion standard for basic telecontrol tasks. – European Committee for Electrotechnical Standardization : Apr 1, 2003. – 189 p.
4. Шерешевский Л.А. Решения Siemens для автоматизированных систем оперативно-диспетчерского управления в энергетике // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 11. – С. 10–12. – ISSN 1561-1531.
5. Электронная система управления трансформаторами типа ТЕС. Руководство для пользователя монитора системы ТЕС. – Компания АBB, 2006. – 44 с. 1ZSC000857-AAD ru, Rev. 1, 2006-06-15.
6. Устройство РПН типа V. Инструкция по эксплуатации ВА 081/05. – Компания Reinhausen GmbH (Германия) – 06 / 2010. – 40 с. – ВА 081/05-RU-06/10 F0049101.
7. Грабко В.В., Левицкий С.М. Интеллектуальный регулятор системы регулирования напруги трансформаторных підстанцій // Вісник Вінницького політехнічного інституту – № 6 (2010). – С. 53–57. – ISSN 1997-9266.
8. Руководство пользователя Trace Mode. Версия 6.0. – М.: AdAstra Research Group, Ltd. – 2008. – 517 с.
9. Twido. Программируемые контроллеры. Справочное руководство по программному обеспечению. – Schneider Electric. – Telemecanique. – TWDUSE10AF ver 2.1 – 2004. – 478 с.

Стаття надійшла 29.06.2011 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.