

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. В. Грабко, І. В. Бальзан

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС
РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ
ТРАНСФОРМАТОРОМ З РПН**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2016

УДК 621.314:681.53
ББК 31.261.8+32.965
Г75

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 13 від 25.06.2015 р.)

Рецензенти:

О. П. Чорний, доктор технічних наук, професор

П. Д. Лежнюк, доктор технічних наук, професор

Грабко, В. В.

Г75 Електротехнічний комплекс регулювання напруги трансформатором з РПН : монографія / В. В. Грабко, І. В. Бальзан. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 128 с.

ISBN 978-966-641-655-4

В монографії здійснено огляд та аналіз існуючих електротехнічних комплексів регулювання напруги із забезпеченням надійності електропостачання в електричних мережах. Авторами розроблені математичні моделі закону регулювання напруги електротехнічних комплексів, що містять трансформатор з РПН, а також моделі оцінки роботоздатності пристрою РПН та відповідні засоби для підвищення якості та надійності регулювання напруги. Книга розрахована на інженерно-технічних працівників електротехнічної промисловості та електроенергетики, що займаються експлуатацією електричного обладнання, а також може бути корисною студентам та аспірантам ВНЗ.

УДК 621.314:681.53

ББК 31.261.8+32.965

ISBN 978-966-641-655-4

© В. Грабко, І. Бальзан, 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІСНУЮЧИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ТА НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	8
1.1 Аналіз сучасного стану регулювання напруги в електричних мережах електротехнічними комплексами	10
1.1.1 Закони регулювання напруги електротехнічних комплексів	10
1.1.2 Засоби регулювання напруги силовим трансформатором з пристроєм РПН	14
1.2 Аналіз сучасного стану надійності електропостачання в задачі регулювання напруги електротехнічними комплексами в електричних мережах	17
1.2.1 Методи і засоби визначення технічного стану силових трансформаторів електротехнічних комплексів	17
1.2.2 Методи і засоби визначення технічного стану пристроїв РПН трансформаторів електротехнічних комплексів	20
1.3 Висновки та постановка задачі дослідження	23
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ І НАДІЙНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ, ЩО МІСТЯТЬ ТРАНСФОРМАТОРИ З РПН.....	25
2.1. Математична модель закону регулювання напруги, що враховує кут нахилу обвідної регулювальної напруги.....	25
2.2 Математична модель закону регулювання напруги, що враховує рівень втрат в трансформаторах навантажувальних підстанцій	27
2.3 Математична модель визначення вагового коефіцієнта впливу трансформатора навантажувальної підстанції в задачі регулювання напруги	29
2.4 Математична модель оцінки роботоздатності пристрою РПН трансформатора.....	33
РОЗДІЛ 3 СИНТЕЗ СТРУКТУР ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ, ЩО МІСТИТЬ ТРАНСФОРМАТОР З РПН	37
3.1 Синтез структури засобу для регулювання напруги, що враховує кут нахилу обвідної регулювальної напруги.....	38

3.2 Технічна реалізація структури регулятора напруги, що враховує рівень втрат в трансформаторах навантажувальних підстанцій	42
3.3 Синтез структур засобів для оцінки роботоздатності пристрою РПН трансформатора.....	43
3.3.1 Синтез структури засобу для визначення часу перемикання пристрою РПН трансформатора.....	43
3.3.2 Синтез структури засобу, що враховує залишковий комутаційний ресурс пристрою РПН	50
РОЗДІЛ 4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИНТЕЗОВАНИХ ЗАСОБІВ	57
4.1 Дослідження роботи системи регулювання напруги трансформатора.....	57
4.1.1 Моделювання процесу регулювання напруги із врахуванням кута нахилу обвідної регулювальної напруги	57
4.1.2 Моделювання процесу регулювання напруги із врахуванням вагового коефіцієнта впливу трансформаторів навантажувальних підстанцій.....	62
4.2 Мікропроцесорний засіб для регулювання напруги за допомогою трансформатора.....	66
4.3 Засіб для діагностування пристрою РПН, реалізований з використанням ПЛІС	68
4.4 Аналітична модель процесів перемикання пристрою РПН трансформатора.....	70
4.4.1 Аналіз перехідного процесу після першої комутації	71
4.4.2 Аналіз перехідного процесу після другої комутації (режим «моста»)	79
4.4.3 Аналіз перехідного процесу після третьої комутації	84
4.4.4 Перехідний процес після четвертої (останньої) комутації.....	87
4.5 Застосування сенсорів для реалізації розроблених засобів	90
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
Додаток А Опис роботи регулятора напруги для силових трансформаторів.....	111
Додаток Б Схеми комп'ютерної моделі закону регулювання напруги, що враховує кут нахилу обвідної регулювальної напруги	122
Додаток В Внутрішні структури комп'ютерної моделі закону регулювання напруги із врахуванням вагового коефіцієнта навантажувальних підстанцій.....	125

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АТ	Автотрансформатор
АЦП	Аналого-цифровий перетворювач
ББ	Блок блокування
БЗПТІ	Блок зміни періоду тактових імпульсів
БП	Блок пам'яті
БС	Блок сигналізації
БФЗН	Блок формування і зміни зони нечутливості
БФУН	Блок формування і зміни уставки напруги
БЧЗ	Блок часової затримки
ГТІ	Генератор тактових імпульсів
ДР	Диференціальне рівняння
ДС	Датчик струму
ПБЗ	Перемикання без збудження
ПІСП	Перетворювач імпульсного сигналу в потенційний
РПН	Регулювання під навантаженням
ТШ	Тригер Шмітта
ФН	Функція належності

ВСТУП

Актуальність теми. Відомо, що в сучасних умовах, враховуючи особливості функціонування споживачів електроенергії, ставляться підвищені вимоги до якості електропостачання. Одним із основних показників якості напруги є її відхилення від допустимого значення [1].

В електричних мережах значення напруги залежить в основному від потужності споживачів електроенергії. Одним із головних та найбільш розповсюджених методів регулювання напруги є її регулювання шляхом зміни коефіцієнта трансформації силового трансформатора. Таке регулювання реалізується в електротехнічних комплексах регулювання напруги, які утворюються поєднанням силового трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням (РПН) та регулятора, що функціонує за певним законом регулювання напруги [2, 3].

Відомо, що такі комплекси регулювання напруги є недостатньо ефективними внаслідок обмеженого робочого ресурсу пристрою РПН, що змушує оперативний персонал, боячись аварійних ситуацій, експлуатувати вказані комплекси в ручному режимі регулювання напруги, тобто перемикання відгалужень силового трансформатора здійснюється оперативним персоналом в залежності від режиму роботи електричної мережі. Як правило, перемикання пристрою РПН здійснюється досить рідко. Очевидно, що якість напруги при такому регулюванні погіршується і часто не відповідає нормативним вимогам. Зате, з іншого боку, роботоздатність пристрою РПН продовжується внаслідок повільного вичерпання його робочого ресурсу.

Для реалізації регуляторів комплексів регулювання напруги розроблено значну кількість законів регулювання напруги. Основним із них передбачається перемикання відгалужень силового трансформатора у випадку, коли напруга певний визначений час виходить за допустимі межі регулювання. Для обмеження кількості перемикань пристрою РПН в закон регулювання напруги було введено умову врахування похідної обвідної регульованої напруги і в разі її спрямування в зону допустимого значення напруги дозвіл на перемикання відгалужень не видавався [4].

Такий підхід дозволяє обмежити кількість перемикачів пристрою РПН, однак якість напруги при цьому суттєво погіршується.

Крім того, надійність якісного електропостачання залежить від надійності обладнання, за допомогою якого здійснюється передача електроенергії до її споживачів. Одним із основних елементів такого обладнання є силовий трансформатор, який містить, згідно з статистичними даними, пристрій РПН, надійність якого відносно низька.

Враховуючи сучасні тенденції щодо підходів до побудови електротехнічних комплексів електричних мереж (Smart Grid) [5, 6], постає необхідність застосування новітніх технологій.

Вказані проблеми обумовлюють актуальність наукової задачі – підвищення ефективності регулювання напруги шляхом розробки нових законів регулювання та підвищення надійності і роботоздатності силових трансформаторів електротехнічних комплексів шляхом їх технічного діагностування.

Дослідженню та створенню методів та засобів регулювання напруги та діагностування трансформаторів електротехнічних комплексів присвячена велика кількість робіт, авторами яких є І. В. Жежеленко, В. Б. Ванін, П. Д. Лежнюк, В. В. Назаров, Б. І. Мокін, А. Н. Рассальський, Н. А. Шидловська, О. Є. Рубаненко, А. Ю. Хренніков, М. А. Поляков, Г. М. Міхеєв, С. Н. Баталігін та багато інших.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІСНУЮЧИХ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ
РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ТА НАДІЙНОСТІ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

З кожним роком зростають вимоги щодо надійності та якості електропостачання. Це обумовлюється великою низкою факторів, зокрема, при розв'язанні задачі оптимізації енергопостачання, енергозбереження, ресурсозбереження тощо. Але один з найголовніших факторів зростання вимог є забезпечення надійної та довготривалої роботи електричного обладнання, яке живиться від електричної мережі.

Якість електропостачання в цілому визначається багатьма показниками якості електричної енергії, які нормуються згідно з [1]. До одного з основних показників якості напруги відноситься рівень відхилення напруги від номінального значення в сторону її збільшення або зменшення, що однаково негативно впливає на якість та довговічність роботи споживачів електроенергії, збільшення втрат потужності в електромережах тощо [7–9].

Відомо, що для регулювання напруги в електричних мережах використовуються різноманітні методи та засоби, що реалізуються в електротехнічних комплексах та дозволяють в залежності від електричних навантажень та інших факторів впливу регулювати напругу в певних межах.

Так, зокрема, одним із класичних підходів до регулювання напруги є зміна коефіцієнта трансформації трансформатора, внаслідок чого напруга на шинах низької напруги трансформатора підтримується в певному допустимому діапазоні [2, 10]. Зміна коефіцієнта трансформації трансформатора здійснюється за допомогою пристрою регулювання під навантаженням (РПН). Такий підхід є найбільш популярним для використання в електричних мережах. Зміна коефіцієнта трансформації трансформатора може здійснюватись також за допомогою пристрою перемикання без збудження (ПБЗ) [2, 10], однак такі перемикання здійснюються, як правило, не більше декількох разів на рік при відключенні трансформатора від мережі, що не суттєво впливає на якість регульованої напруги.

Слід зазначити, що регулювання напруги можна здійснювати за допомогою пристроїв компенсації реактивної потужності, які реалізуються з використанням батарей статичних конденсаторів або синхронних компенсаторів, реакторів тощо [11–15]. Ці засоби оснащуються відповідними регуляторами для підтримання напруги в заданих

межах. Однак, зважаючи на економічну скруту та реальний стан розвитку електричних мереж очевидно, що зазначені підходи не набули широкого застосування. Існують інші мало розповсюджені способи регулювання напруги, зокрема, ввімкнення (вимкнення) частини елементів електричної мережі, що працюють паралельно, вольтододатні трансформатори тощо.

Отже, найпопулярнішим та найвикористовуванішим на сьогодні є метод регулювання напруги за допомогою трансформаторів шляхом зміни його коефіцієнта трансформації.

Згідно з низкою літературних джерел [3, 10, 16] на вузлових підстанціях регулювання напруги здійснюється за допомогою електротехнічних комплексів регулювання напруги, в які входять трансформатори з пристроями РПН в поєднанні з відповідними регуляторами напруги.

В роботі [17] пропонується з метою якісного постачання електроенергії споживачам застосовувати регулювання напруги за допомогою трансформаторів в мережі 10/0,4 кВ.

Очевидним є факт безпосередньої залежності якості електричної енергії, що передається споживачам, від надійності роботи електричних мереж [18–21].

Відмова в роботі пристрою РПН, трансформатора або автоматичного регулятора одразу ж впливає безпосередньо на якість регульованої напруги.

Ще одна проблема, яку потрібно вирішувати паралельно з наведеними вище, це зменшення втрат електроенергії в електричних мережах. Це необхідно вирішувати згідно з [22], але в разі нераціональної реалізації електричних мереж, що має місце в реальних умовах, виникає питання зменшення втрат електроенергії. В роботах [23, 24] запропоновано варіант подолання зазначеної проблеми, однак в цілому залишаються питання щодо надлишкової кількості перемикань пристрою РПН трансформатора.

Слід також взяти до уваги публікації [25–27], в яких зазначається необхідність правильного проектування та грамотної експлуатації електричних мереж. Але реальні факти підтверджують більш високі втрати електроенергії в трансформаторах в режимі, близькому до холостого ходу, при відхиленні регульованої напруги в сторону її збільшення понад номінальну, що особливо має місце у нічний час. Наприклад, перевищення напруги на шинах високої напруги трансформатора всього на 5 % спричиняє збільшення втрат холостого ходу на 15–20 %, а при перевищенні напруги на 10 % втрати холостого ходу збільшуються на 50 %.

1.1 Аналіз сучасного стану регулювання напруги в електричних мережах електротехнічними комплексами

В залежності від графіків навантаження споживачів електричної енергії [3, 16] регулювання напруги в електричних мережах здійснюється за одним із трьох принципів [3, 16, 28]:

- стабілізація напруги;
- стабілізація за заданим графіком напруги;
- зустрічне регулювання.

Принцип стабілізації передбачає підтримання напруги на заданому рівні. Принцип зустрічного регулювання передбачає встановлення значення напруги на шинах низької напруги трансформаторів в залежності від струму навантаження. При цьому в період максимального навантаження напруга підтримується на шинах на 5...10 % вищою номінального значення, а в години мінімального навантаження – не вищою номінального значення [29].

Як зазначено вище, зміну коефіцієнта трансформації трансформатора можна забезпечити за допомогою пристроїв РПН, які мають різну конструкцію та різні технічні характеристики, описи яких наведено, наприклад, в [30–33].

Регулювання напруги трансформаторів, як правило, мало б відбуватися із застосуванням регулюючих пристроїв в автоматичному режимі з високою надійністю [34, 35]. Однак не завжди ця умова виконується через недостатню надійність пристрою РПН, враховуючи рівень зношеності електрообладнання, який сягає 80 % і більше [36].

Трансформатори в сукупності з автоматичними регуляторами утворюють електротехнічні комплекси регулювання напруги.

1.1.1 Закони регулювання напруги електротехнічних комплексів

Очевидно, що кожен регулятор працює за відповідним законом керування в залежності від умов експлуатації.

Відомо, що одним із найпоширеніших для регулювання напруги трансформатора використовується закон зустрічного регулювання напруги, який для ступінчастого регулювання пристроями РПН має вигляд [4]:

$$u(t) = K_1((U(t) - U_y) - K_2(I(t) - I_{\min}));$$
$$K_m = \begin{cases} \frac{U_{i+1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } u(t) \leq u_{н.з}; \\ \frac{U_i}{U_{н.н}}, & \text{при } u_{н.з} < u(t) < u_{в.з}; \\ \frac{U_{i-1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } u(t) \geq u_{в.з}, \end{cases} \quad (1.1)$$

де K_m – коефіцієнт трансформації трансформатора з РПН; $u(t)$ – приведена напруга на шинах підстанції з урахуванням струмової компенсації; $u_{н.3}$, $u_{в.3}$ – нижня і верхня границі його 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; $U_{н.н}$ – напруга на шинах низької напруги трансформатора; U_i – напруга, що індукується 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,

$$K_2 = \frac{0,05U_{ном}}{I_{max} - I_{min}}; \quad (1.2)$$

де I_{max} – струм навантаження в режимі максимуму.

В умовах експлуатації намагаються по можливості обмежити кількість перемикань відгалужень трансформатора, свідомо йдучи на деяке погіршення якості регулювання, але збільшуючи, тим самим, надійність. З цією метою в закон регулювання було введено часову затримку τ_3 і логічну умову, якими ігноруються короткочасні коливання напруги, а перемикання пристрою РПН здійснюються тільки за наявності відхилень. В результаті було отримано математичний вираз у вигляді [4]:

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

$$K_m = \begin{cases} \frac{U_{i+1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } \begin{cases} u(t) \leq u_{н.3}; \\ u(t - \tau_3) \leq u_{н.3}; \end{cases} \\ \frac{U_i}{U_{н.н}}, & \text{при } u_{н.3} < u(t) < u_{в.3}; \\ \frac{U_{i-1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } \begin{cases} u(t) \geq u_{в.3}; \\ u(t - \tau_3) \geq u_{в.3}; \end{cases} \end{cases} \quad (1.3)$$

де τ_3 – час затримки сигналу.

Для підвищення стійкості регулювання в закон (1.3) була введена додаткова логічна умова, якою враховується знак похідної обвідної $U_{об}$ регульованої напруги $U(t)$. Ця умова дозволяє не проводити перемикання відгалужень трансформатора, якщо регульований параметр знаходиться поза зоною нечутливості регулятора, але під впливом зовнішніх факторів сам прямує до зони. Закон регулювання для цього випадку має вигляд згідно з формулами (1.4), де $\frac{dU_{об}}{dt}$ – похідна обвідної контрольованої напруги [4].

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

$$K_m = \begin{cases} \frac{U_{i+1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } \begin{cases} u(t) \leq u_{н.3}; \\ u(t - \tau_3) \leq u_{н.3}; \\ \frac{dU_{об}}{dt} \leq 0; \end{cases} \\ \frac{U_i}{U_{н.н}}, & \text{при } u_{н.3} < u(t) < u_{в.3}; \\ \frac{U_{i-1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо } \begin{cases} u(t) \geq u_{в.3}; \\ u(t - \tau_3) \geq u_{в.3}; \\ \frac{dU_{об}}{dt} \geq 0. \end{cases} \end{cases} \quad (1.4)$$

Однак і останній вираз не дозволяє в повній мірі забезпечити достатню якість регульованої напруги за умови обмеженої кількості перемикань пристрою РПН.

Якщо, наприклад, контрольований сигнал напруги знаходиться за зоною нечутливості і похідна обвідної має знак, яким передбачається входження напруги в допустиму зону через певний час, то сигнал на перемикання пристрою РПН блокується. Але коли похідна напруги змінюється надто повільно, то входження напруги в допустиму зону нечутливості може відбутися занадто довго, що може суттєво відобразитись на якості напруги живлення для споживачів.

В роботах [37–39] запропоновано нечіткі та генетичні моделі керування регулятором напруги трансформатора. Але акцент в них ставиться на специфічну реалізацію закону регулювання на основі математичного апарату теорії нечітких множин та генетичних алгоритмів. І зовсім не приділено увагу питанням, як збільшиться чи зменшиться кількість перемикань пристрою РПН для забезпечення необхідної якості напруги.

Для зменшення кількості перемикань пристрою РПН вузлової підстанції в роботах [40, 41] запропоновано регулятори напруги на навантажувальних підстанціях об'єднати з регулятором напруги вузлової підстанції в єдину дворівневу систему регулювання, в якій дозвіл на перемикання пристрою РПН регулятором дає блок прийняття рішення тільки тоді, коли певна кількість регуляторів навантажувальних підстанцій вичерпали свій діапазон регулювання. Очевидно, що в такій системі регулювання напруги трансформатори навантажувальних підстанцій мають бути укомплектовані пристроями РПН також. Структура такої системи регулювання напруги показана на рисунку 1.1, на якому позначено: T_p – трансформатор з пристроєм РПН вузлової підстанції;

$T_1 - T_n$ – трансформатори навантажувальних підстанцій з пристроями РПН; $R_1 - R_n$ – регулятори напруги навантажувальних підстанцій.

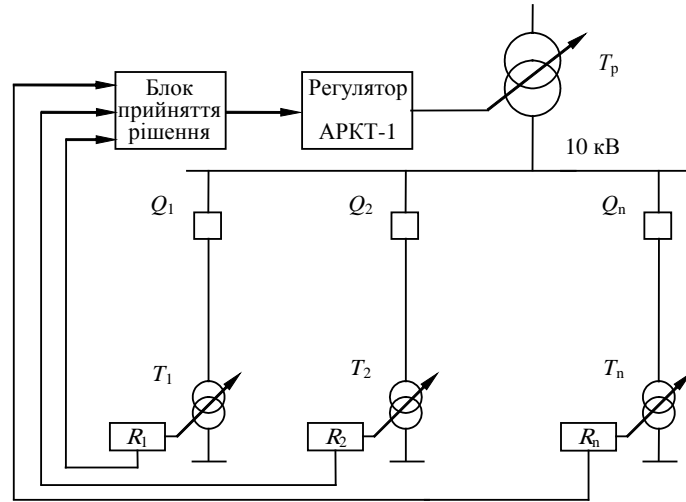


Рисунок 1.1 – Функціональна схема дворівневої системи регулювання напруги

Закон регулювання напруги для такої системи має вигляд:

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

$$K_m = \begin{cases} \frac{U_{i+1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо} \begin{cases} u(t) \leq u_{н.з}; \\ u(t - \tau_3) \leq u_{н.з}; \\ \frac{dU_{об}}{dt} \leq 0; \\ \sum_{j=1}^n K_j m_{н j} > K_n; \end{cases} \\ \frac{U_i}{U_{н.н}}, & \text{при } u_{н.з} < u(t) < u_{в.з}; \\ \frac{U_{i-1}}{U_{н.н}}, & \text{якщо} \begin{cases} u(t) \geq u_{в.з}; \\ u(t - \tau_3) \geq u_{в.з}; \\ \frac{dU_{об}}{dt} \geq 0; \\ \sum_{j=1}^n K_j m_{в j} > K_n, \end{cases} \end{cases} \quad (1.5)$$

де K_j – ваговий коефіцієнт j -го трансформатора навантажувальної підстанції; n – кількість трансформаторів навантажувальних підстанцій; K_n – пороговий коефіцієнт, що задає мінімальну кількість трансформаторів, при запиті від яких дозволяється перемикання; $m_{н,j}, m_{в,j}$ –

коефіцієнти, які визначають вичерпання діапазону регулювання j -м трансформатором навантажувальної підстанції при регулюванні напруги в сторону її збільшення або зменшення відповідно. При цьому

$$m_{\text{Н}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } u_{\text{II}}(t) > u_{\text{II.Н.З}}; \\ 1, & \text{якщо } \begin{cases} u_{\text{II}}(t) \leq u_{\text{II.Н.З}}; \\ u_{\text{II}}(t - \tau_{\text{II.З}}) \leq u_{\text{II.Н.З}}; \end{cases} \end{cases} \quad (1.6)$$

$$m_{\text{В}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } u_{\text{II}}(t) < u_{\text{II.В.З}}; \\ 1, & \text{якщо } \begin{cases} u_{\text{II}}(t) \geq u_{\text{II.В.З}}; \\ u_{\text{II}}(t - \tau_{\text{II.З}}) \geq u_{\text{II.В.З}}; \end{cases} \end{cases}$$

де $u_{\text{II}}(t)$ – поточне значення напруги на шинах високої напруги трансформатора навантажувальної підстанції; $u_{\text{II.Н.З}}$, $u_{\text{II.В.З}}$ – напруги, що відповідають нижній і верхній межам зони нечутливості трансформатора навантажувальної підстанції; $\tau_{\text{II.З}}$ – час затримки сигналу регулятора навантажувальної підстанції.

Вказана система регулювання напруги дозволяє в якійсь мірі розв'язати поставлену задачу, але проблематичним є доукомплектування пристроями РПН трансформаторів навантажувальних підстанцій. Сумнівним залишається і питання підвищення надійності електропостачання.

Відомий пропорційно-інтегральний закон регулювання напруги [42], який реалізовано за методом дискретно-динамічного регулювання напруги, що забезпечує заздалегідь заданий ступінь стійкості процесу керування трансформатором, однак в такому аспекті питання в роботі не розглядається.

1.1.2 Засоби регулювання напруги силовим трансформатором з пристроєм РПН

В роботі [40] зроблений аналіз різноманітних методів та систем регулювання напруги з використанням різних типів трансформаторів, регуляторів та законів регулювання напруги. Кожна реалізація має свої переваги та недоліки, але в загальному випадку вони характеризуються або заниженою якістю напруги, або збільшеною кількістю перемикачів пристрою РПН, що певним чином обмежує їх застосування.

Одним із найпоширеніших у використанні в електротехнічних комплексах регулювання напруги на підстанціях є пристрій автоматичного регулювання трансформаторів під навантаженням типу РНМ-1 [43], який використовується замість застарілого АРТ-1Н [44], перевагою яких є підвищення стійкості регулювання напруги за рахунок значної затримки сигналу на перемикач. При цьому система регулювання напруги не реагує на короточасні коливання напруги, чим підвищу-

ється її надійність в цілому. Однак такий регулятор не відслідковує напрямок зміни напруги і, тим самим, нерідко виконує зайві перемикання пристрою РПН, що негативно відображається на ресурсі останнього.

В роботі [45] запропоновано функціональну схему регулятора системи регулювання напруги трансформатора, яка зображена на рисунку 1.2.

На рисунку 1.2: 1 – фільтр; 2, 3 – тригери Шмітта; 4, 13, 15, 21, 37 – логічні елементи АБО; 5, 9, 23, 31 – блоки часової затримки; 6, 7, 10, 12, 16, 33, 34, 36 – логічні елементи І; 8, 14 – логічні елементи НІ; 11, 35 – блоки пам'яті; 17, 32 – підсилювачі; 18 – датчик струму; 19 – блок визначення похідної обвідної регульованої напруги; 20 – блок визначення знака похідної; 22, 30 – перетворювачі імпульсного сигналу в потенційний; 24 – суматор; 25 – блок формування і зміни зони нечутливості; 26 – блок формування і зміни уставки напруги; 27 – пороговий блок; 28 – блок зміни періоду тактових імпульсів; 29 – генератор тактових імпульсів (ГТІ); 38 – блок контролю схеми регулятора і електропривода в режимі «Рух відсутній»; 39 – блок перемикання ГТІ в нормальному режимі; 40 – блок контролю електропривода в режимі «Застрагання»; 41 – блок блокування; 42 – блок сигналізації.

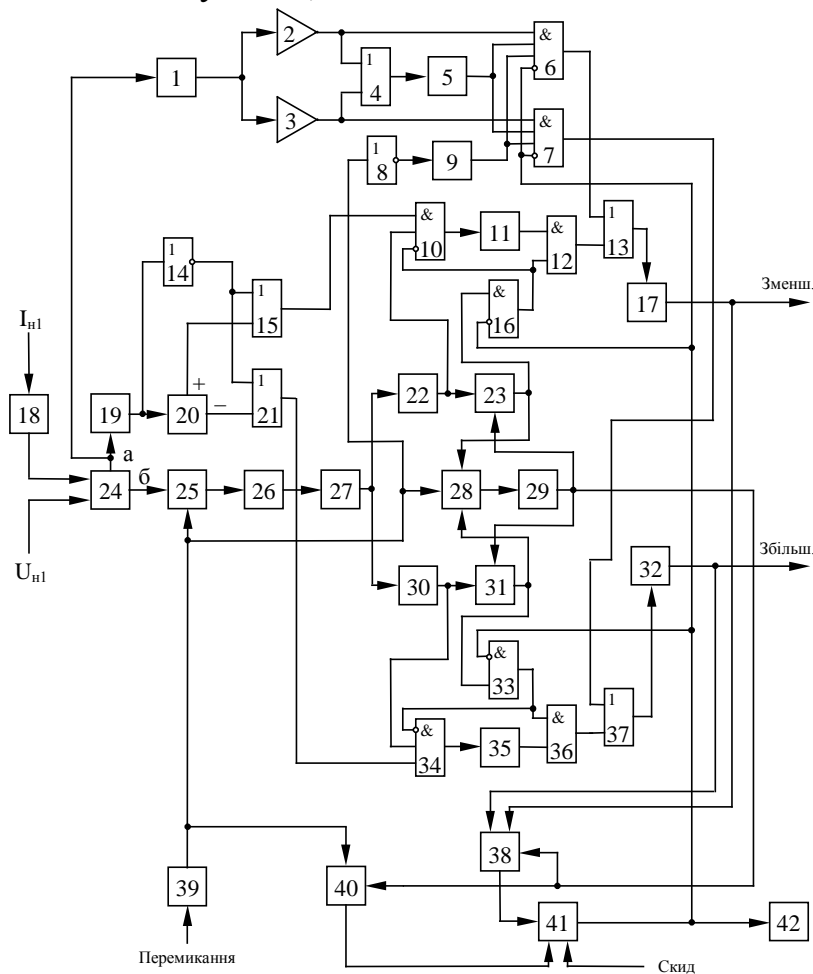


Рисунок 1.2 – Функціональна схема регулятора системи регулювання напруги трансформатора

Цей регулятор сигнал перемикання відгалужень трансформатора в сторону зменшення відхилення напруги формує тоді, коли значення напруги знаходиться за межами зони нечутливості протягом часу τ і не має тенденції до повернення в зону.

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

Окрім того, регулятор дозволяє формувати серію сигналів на перемикання пристрою РПН у разі значного відхилення напруги від нормованого значення.

Недоліком цього як і інших підходів до регулювання напруги є значне обмеження кількості перемикань пристрою РПН, внаслідок чого знижується якість регульованої напруги.

Відома реалізація регулятора, викладена в роботі [46], в закон перемикання якого закладено умови перевірки стану трансформаторного масла (хроматографічний аналіз), струму електродвигуна приводу, тангенса кута діелектричних втрат трансформаторного масла, вмісту вологи в маслі тощо. Зазначені умови реалізуються в фаззі контролері та є додатковою умовою на перемикання регулятором пристрою РПН в разі задовільного його технічного стану.

Вказана реалізація регулятора не дозволяє оптимізувати кількість перемикань пристрою РПН, а тільки сповіщає оперативний персонал про наближення до вичерпання робочого ресурсу пристрою РПН.

Відомий також регулятор напруги трансформаторів [47], який здійснює перемикання відгалужень трансформатора по закінченню відстеження часу, що не перевищує фіксований, після багаторазового виходу напруги за зону нечутливості. Однак при такому регулюванні напруга тривалий час знаходиться за допустимими межами.

Ще один варіант системи регулювання напруги трансформатором запропонований в [48]. Особливість реалізації полягає в мікропроцесорному виконанні регулятора з контролюванням роботоздатності всіх елементів керування.

Подібна система регулювання напруги трансформатором, але з електронним пристроєм РПН, реалізована з використанням мікропроцесорного регулятора [49]. В цій роботі закон регулювання напруги не розкритий, а, отже, оцінити особливості такої системи складно.

Тому, очевидно, необхідно здійснювати пошук нових рішень в цьому напрямку.

1.2 Аналіз сучасного стану надійності електропостачання в задачі регулювання напруги електротехнічними комплексами в електричних мережах

Не менш важливим є питання забезпечення надійності електропостачання споживачів в процесі регулювання напруги.

В задачі регулювання напруги ключовим об'єктом забезпечення надійності електропостачання є трансформатор електротехнічного комплексу. Вичерпання робочого ресурсу його складових або їхній вихід з ладу може не тільки погіршити якість електропостачання, але й і припинити подачу електроенергії.

В низці робіт [50–54] вказується на створення або необхідність створення систем комплексного діагностування високовольтного електрообладнання під робочою напругою в процесі експлуатації. Пріоритет надається задачам розробки ефективної автоматизованої системи діагностування, здатної фіксувати дефекти в електрообладнанні на початковому етапі їх розвитку; переходу від затратної системи періодичного обслуговування до системи обслуговування за технічним станом; створенню автоматизованої системи прогнозування відмов на базі отримуваної в режимі експлуатації діагностичної інформації.

Слід зазначити, що на сучасному етапі розвитку науки і техніки з'являється багато нових підходів та методів діагностування електротехнічного обладнання. Акцентується увага на застосуванні сучасних інформаційних технологій [55], нейронних мереж, теорії нечітких множин, генетичних алгоритмів [56–59] тощо.

1.2.1 Методи і засоби визначення технічного стану силових трансформаторів електротехнічних комплексів

Пов'язуючи задачу якісної електроенергії із задачею надійного електропостачання, очевидно, що в першу чергу, як підкреслено вище, необхідно розглядати серед основного високовольтного електрообладнання трансформатори електротехнічних комплексів.

За статистичними даними, опублікованими в [60], пошкодження трансформаторів напругою 110 кВ розподіляються так: 13 % – обмотки; 5 % – система охолодження; 18 % – РПН; 23 % – вводи; 32 % – протікання трансформаторного масла; 9 % – інші. Причому, чим більший термін експлуатації трансформатора, тим ширший спектр пошкоджень, що виникають в них [61].

Очевидно, що одним із основних факторів довготривалої роботи трансформатора є рівень його завантаження, який регламентується згідно з [62]. Але не менш важливим є врахування інших факторів, якими визначається роботоздатність трансформатора [63].

Як показує практика [64], більше всього схильні до пошкоджень обмотки трансформатора. Найбільш поширене їх пошкодження через старіння та спрацювання ресурсу ізоляції. Спрацювання ізоляції настає в результаті тривалої експлуатації трансформатора, але спостерігається і прискорене спрацювання, обумовлене частими перевантаженнями або недостатньо інтенсивним охолодженням при номінальному навантаженні. До інших пошкоджень обмоток відносяться замикання на корпус, міжсекційні пробивання, електродинамічна руйнація, обрив кіл тощо.

Вказані пошкодження найчастіше виникають при роботі трансформатора понад 15 років. Ізоляція руйнується також при тривалих перевантаженнях трансформатора, що супроводжуються перегріванням обмоток.

В роботі [65] зазначається, що причинами пошкодження трансформаторів є спрацювання ресурсу ізоляції обмоток – 24 %, пошкодження (пробивання ізоляції вводів) – 21 %, пошкодження пристрою РПН – 10 % та інші. Акцентується увага на низьку надійність пристроїв РПН в роботах [64, 65]. Зроблено висновки про економічну недоцільність експлуатації трансформаторів, коли питома пошкоджуваність складає 3 %, що має місце при експлуатації трансформаторів в межах 45 років [66].

Дослідження науковців Німеччини та Швейцарії дозволили зробити висновок про кардинальний вплив режиму роботи трансформаторів на ступінь старіння його ізоляції [67].

Японські вчені при аналізі спрацювання ресурсу ізоляції обмоток акцентують увагу на відслідковування ступеню її полімеризації [68].

Фахівці компаній Бразилії та Німеччини вказують на переваги неперервного контролю стану трансформаторів [69].

Відома низка робіт [63, 70–77], в яких пропонуються варіанти підвищення надійності роботи трансформаторів. Всі вони направлені на підвищення достовірності визначення роботоздатності трансформаторів за різними показниками впливу, особливо при вичерпанні гарантованого терміну експлуатації.

Для підвищення ефективності комплексних діагностичних обстежень реалізується програма [78, 79], в якій створюється база даних аварійності і характерних дефектів трансформаторів різних типів; систематизуються основні види дефектів і розробляється база даних дефектів та їх діагностичних ознак; зіставляються результати комплексних діагностичних обстежень та ремонтів. Це є передумовою розробки та впровадження нових і розвинення відомих діагностичних методів, здійснення статистичної обробки отриманих результатів і оцінки

достовірності та ефективності окремих методів комплексного діагностування та обстежень.

Велика кількість наукових публікацій стосується проблем діагностування ізоляції обмоток трансформаторів. В роботі [80] запропоновано підхід до прогнозування теплового старіння ізоляції з врахуванням температури обмоток, вологовмісту паперової ізоляції, ступеня окислення трансформаторного масла. Уточнені математичні вирази для визначення інтенсивності старіння ізоляції обмоток опубліковані в роботі [81]. Показано, що комплексна дія всіх факторів впливу на старіння ізоляції суттєво прискорює її зношення. Зазначається необхідність врахування температури навколишнього середовища.

Іншим фактором оцінки роботоздатності трансформатора є механічний стан ізоляції обмоток [82, 83], який суттєво залежить від динамічних впливів внаслідок виникнення струмів короткого замикання, перевантаження, наскрізних струмів тощо. Запропонована методика передбачає діагностування механічного стану обмоток за видом амплітудно-частотних та фазо-частотних характеристик, які отримують при поданні тестових сигналів на виведений трансформатор з роботи.

Електродинамічна стійкість обмоток трансформаторів досліджується також за допомогою методів спектрального аналізу [84, 85].

Активно використовуються методи тепловізійного діагностування [86, 87], якими періодично визначаються області підвищеної температури, внаслідок чого можна зробити висновок про виникнення та розвинення місця можливого пошкодження.

В роботі [88] зазначається, що для дослідження трансформатора використовується 21 вид випробувань та контролю. Однак можливе введення додаткових видів дослідження по мірі розробки нових методів діагностування [89, 90]. В аналізі діагностичної цінності тієї чи іншої ознаки, яка використовується для оцінки стану трансформатора, принципово важливе значення мають такі аспекти: контрольований показник – це функція фізико-хімічного стану ізоляції чи це спостереження за супутніми змінами при розвитку дефектів; наявність монотонності зміни значення вимірюваного показника під час розвитку дефекту, яким цей показник характеризується; наявність суттєвих відмінностей між значеннями вимірюваного показника та ступенем розвитку дефекту.

Значна кількість публікацій [91–97] стосується створення підходів та систем моніторингу трансформаторів. Аналогічні дослідження проводяться і закордонними науковцями [98–101]. Фактори впливу та методи діагностування трансформаторів практично збігаються з результатами, отриманими вченими країн СНД.

Системи моніторингу, діагностування та захисту трансформаторів опубліковані в роботах [102–107], причому, в них, як правило, наводиться загальна структура і загально описані функціональні можливості без акцентування уваги за якими моделями здійснюється моніторинг, які параметри трансформаторів беруться до уваги, як вимірюються ті чи інші параметри тощо.

Реалізовано і багато пристроїв, які дозволяють певною мірою діагностувати трансформатор та його складові. Так, в публікаціях [108, 109] запропоновано пристрої для визначення теплового старіння ізоляції обмоток за температурою найбільш нагрітої точки трансформатора. В роботах [110–113] розроблено пристрої для визначення пошкодження обмоток внаслідок динамічних деформацій, обумовлених струмами короткого замикання. Хроматографічний аналіз трансформаторного масла та газоміст в ньому пропонується реалізувати в пристроях, що описані в [114, 115]. Пристрій для визначення короткозамкнених витків в обмотках трансформатора запропоновано в роботі [116]. Ще один пристрій [117] дозволяє контролювати стан ізоляції трансформаторів за аналізом та порівнянням зразкового тестового сигналу з сигналом, отриманим після його проходження через трансформатор. Пропонуються автономні засоби контролю стану ізоляції обмоток та трансформаторів в цілому [118, 119].

Кожен із згаданих засобів має свої переваги застосування та обмеження для розв'язання різних задач та умов дослідження трансформаторів.

Виходячи з наведеного, можна зробити висновок про необхідність неперервного пошуку нових рішень для вдосконалення методів діагностування та підвищення надійності трансформаторів, які дозволяють діагностувати трансформатор в процесі експлуатації з підвищенням достовірності його роботоздатності.

1.2.2 Методи і засоби визначення технічного стану пристроїв РПН трансформаторів електротехнічних комплексів

З викладеного аналізу випливає також, що і значну частку пошкоджень трансформатора складає несправність пристрою РПН, від надійності роботи якого суттєво залежить надійність і якість електропостачання.

І якщо проблемам ізоляції обмоток трансформаторів приділено увагу у великій кількості публікацій, то проблеми дослідження роботи пристрою РПН в літературі висвітлені значно менше.

Як показує досвід експлуатації [120–122] пристрій РПН є одним із найпошкоджуваніших вузлів трансформаторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.01.2000. – К. : Держстандарт України, 1999. – 32 с.
2. Идельчик В. И. Электрические системы и сети : учебник для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи : підруч. – М. С. Сегеда. – 2-е вид. – Львів : Львівська політехніка, 2009. – 488 с.
4. Мокин Б. И. Автоматические регуляторы в электрических сетях. – Б. И. Мокин, Ю. Ф. Выговский. – К. : Техника, 1985. – 104 с.
5. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.
6. Smart Grid – European Technology Platform for Electricity Networks of the Future. – European Commission, 2005. – Mode of access: <http://www.smartgrids.eu/>.
7. Жежеленко И. В. Сокращение срока службы и снижение надежности электрооборудования при пониженном качестве электроэнергии / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, А. В. Горпинич // Промелектро. – 2006. – № 1. – С. 17–22.
8. Li W. Evaluating unavailability of equipment aging failures / W. Li, S. Pai // IEEE Power Engineering Review. – 2002. – № 2. – P. 52–54.
9. Li W. Incorporating aging failures in power system evaluation / W. Li // IEEE Transactions on Power Systems. – 2002. – № 3. – P. 918–923.
10. Перетятко В. А. Проблемы регулирования напряжения / В. А. Перетятко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2011. – № 1(47). – С. 142–151.
11. Сегеда М. С. Використання асинхронізованих турбогенераторів для підвищення надійності роботи електростанцій та регулювання напруги в енергосистемі / М. С. Сегеда, В. П. Олексин, А. В. Олексин // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 6. – С. 63–65.
12. Асинхронизированные турбогенераторы как средство повышения устойчивости и регулирования напряжения в электрических сетях / И. А. Лабунец, П. В. Сокур, Н. Д. Пинчук [и др.] // Электрические станции. – 2004. – № 8. – С. 26–32.
13. Лежнюк П. Д. Регулювання реактивної потужності й напруги в електричних мережах як допоміжна послуга / П. Д. Лежнюк, Ю. В. Грицюк, В. М. Пірняк // Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 2. – С. 1–6.
14. Рудницький В. Г. Вибір параметрів багатфункціонального пристрою регулювання напруги і реактивної потужності з новою еле-

ментною базою / В. Г. Рудницький, В. В. Бондаренко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2006. – Вип. 67 – С. 48–54. – Режим доступу: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/emeo/ee_67/10.pdf

15. Голодний І. М. До питання компенсації реактивної потужності / І. М. Голодний, С. О. Більчук // Енергетика і автоматика. – 2011. – № 3(9). – С. 1–13. – Режим доступу: http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2011_3/11gimcrp.pdf.

16. Лыкин А. В. Электрические системы и сети : учеб. пособие. – М. : Университетская книга. Логос, 2008. – 254 с.

17. Білаш І. П. Обґрунтування діапазону регулювання напруги трансформаторів 10/0,4 кВ з РПН / І. П. Білаш // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2009. – Вип. 86. – С. 27–30.

18. Єгорова О. Ю. Комплексна оцінка якості електроенергії з урахуванням надійності електропостачання в сільських електромережах / О. Ю. Єгорова, М. В. Михалко // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 5(95). – С. 41–44.

19. Ковалев Г. Ф. Методика комплексной оценки надежности электроснабжения и качества электроэнергии в сельских распределительных сетях / Г. Ф. Ковалев, Д. В. Чернов // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2009. – № 1–2. – С. 125–129.

20. Ковалев Г. Ф. Оценка качества электрической энергии при различных уровнях надежности схем электроснабжения / Г. Ф. Ковалев, Д. В. Чернов // Актуальные проблемы АПК : материалы научно-пр. конф. – Иркутск : ИрГСХА, 2005. – С. 71–72.

21. Ковалев Г. Ф. Взаимосвязь надежности электроснабжения и качества электроэнергии для сельских потребителей на современном этапе / Г. Ф. Ковалев, И. В. Наумов, Д. В. Чернов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : труды 3-й Междунар. научн.-техн. конф. – М., 2003. – С. 157–161.

22. Методичні вказівки з аналізу технологічних втрат електроенергії та вибору заходів щодо їх зменшення : ГНД 34.09.204-204-2004. – К. : ГРІФРЕ, 2004. – 159 с.

23. Мирошник А. А. Оперативное управление режимом распределительных сетей для снижения потерь электрической энергии / А. А. Мирошник // Енергетика і автоматика. – 2010. – № 2 (4). – С. 1–12.

24. Пат. 85724 Україна, МПК G 01 R 21/06 G 01 R 22/00. Лічильник електричної енергії / Черемісін М. М., Мірошник О. О., Трибель В. І. ; заявник та патентовласник Черемісін М. М., Мірошник О. О., Трибель В. І. – № а 200700698 ; заявл. 23.01.2007 ; опубл. 25.02.2009, Бюл. № 4.

25. Назаров В. В. Энергоэффективная реконструкция распределительной электрической сети / В. В. Назаров // Электрические сети и системы. – 2011. – № 2. – С. 52–56.

26. Назаров В. В. Распределительная электрическая сеть (ресурсо- и энергосбережение) – часть вторая / В. В. Назаров // Электрические сети и системы. – 2010. – № 5. – С. 28–30.

27. Назаров В. В. Энергоэкономичная эффективность распределительных трансформаторов / В. В. Назаров, С. Б. Масловский // Электрические сети и системы. – 2012. – № 1 – С. 48–50.

28. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях : учеб. пособие для электроэнерг. спец. / В. В. Ежков, Г. К. Зарудский, Э. Н. Зуев [и др.]; под. ред. В. А. Строева. – М. : Высш. шк., 1999 – 352 с.

29. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ–6 и ПУЭ–7. – Новосибирск : Изд-во Сиб. ун-та, 2006. – Вып. 3. – 854 с.

30. ГОСТ 24126-80 Устройства регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 17500-72 ; введ. 01.01.82. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам. – 24 с.

31. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), тип UBB. Техническое руководство – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/69fcae247d293df5c1256df6002de0c3/\\$file/106_ru4.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/69fcae247d293df5c1256df6002de0c3/$file/106_ru4.pdf).

32. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), тип UZ. Техническое руководство – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/05e28afe35eb52bec12577f40042bc89/\\$file/1zse%205492-104%20ru%20rev%209.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/05e28afe35eb52bec12577f40042bc89/$file/1zse%205492-104%20ru%20rev%209.pdf).

33. Устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), тип UC. Техническое руководство – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/2a967ee9bc0bcf60c1257a8d0025b7e8/\\$file/1ZSC000562-AAW%20ru.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/2a967ee9bc0bcf60c1257a8d0025b7e8/$file/1ZSC000562-AAW%20ru.pdf).

34. Лежнюк П. Д. Математичне моделювання навантажувальної спроможності трансформаторів з РПН в задачах оптимального керування режимами ЕЕС / П. Д. Лежнюк, В. М. Лагутін, О. І. Казьмірук // Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2009. – № 637. – С. 39–44. – Режим доступа: http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/vnulp/Elektroenerg/2009_637/09.pdf.

35. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях : руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М. : ЭНАС, 2008. – 280 с.

36. Бабушкин В. М. Современное состояние энергетики Украины и проблемы ее развития / В. М. Бабушкин, Э. А. Бондаренко, И. М. Черемисин // Электрические сети и системы. – 2003. – № 2. – С. 3–7.

37. Шавранський М. В. Нечітка модель керування регулятором напруги силового трансформатора / М. В. Шавранський, В. М. Шав-

ранський // Контроль, автоматика та електротехніка. – 2006. – № 1(13). – С.83–87.

38. Левицький С. М. Математична модель регулятора системи по-здовжньо-поперечного регулювання напруги / С. М. Левицький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5. – С. 248–252.

39. Любченко В. Я. Оптимизации коэффициентов трансформации подстанций на основе генетического алгоритма / В. Я. Любченко, Д. А. Павлюченко // ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление. – М. : ВИНТИ, 2008. – № 6. – С. 30–32.

40. Грабко В. В. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН : монографія. / В. В. Грабко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 109 с.

41. Грабко В. В. Ієрархічна система регулювання напруги в електричних мережах / В. В. Грабко // Гірнична електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ : НГА України. – 2000. – № 64. – С. 13–17.

42. Філатов О. Г. Метод дискретно-динамічного регулювання напруги для керування трансформаторами з пристроями РПН / О. Г. Філатов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 3. – С. 124–127.

43. Регулятор напряжения трансформатора микропроцессорный «РНМ-1». Руководство по эксплуатации, паспорт – Режим доступа: http://www.rza.ru/download_manuals/rnm-1.pdf.

44. Устройство автоматического регулирования трансформаторов под нагрузкой типа АРТ-1Н. Техническое описание и инструкция по эксплуатации устройства АРТ-1Н. – Рига : Энергоавтоматика, 48 с.

45. Пат. 35207А Україна, МКИ Н 02 Р 13/06 Регулятор напруги для силових трансформаторів / Мокін Б. І., Грабко В. В., Львов І. Ю., заявник Вінницький державний технічний університет. – № 99094925 ; заявл. 03.09.99 ; опубл. 15.03.01, Бюл. № 2.

46. Грабко В. В. Інтелектуальний регулятор системи регулювання напруги трансформаторних підстанцій / В. В. Грабко, С. М. Левицький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 6. – С. 53–57.

47. MR TAPCOM 260 – параллельное управление группой трансформаторов. Инструкция по эксплуатации ВА 261-001/03. – Режим доступа: <http://www.reinhausen.com/ru/XparoDownload.ashx?raid=20608>.

48. Pat. № 5428551 US, CI. G05F1/14. Tap changer monitor apparatus and method / John J. Trainor, Carl J. Laplace, Michael A. Bellin, James H. Horlow.; applicant and patentee Siemens Energy & Automation, Inc. – claimed Sep. 23, 1992; published Jun. 27, 1995.

49. Mailah N. F. Microcontroller Based Semiconductor Tap Changer for Power Transformer. / N. F. Mailah, S. M. Bashi, W. H. Meng // Power Tech Conference Proceedings, IEEE Bologna. – 2003. – Vol. 4.

50. Комплексный подход к диагностике высоковольтного оборудования подстанций 220–1150 кВ под рабочим напряжением в режиме эксплуатации / А. Н. Рассальский, А. А. Сахно, С. П. Конограй, А. А. Гук // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2010. – № 4. – С. 23–25.
51. Основные принципы непрерывного контроля высоковольтного маслонаполненного электрооборудования с изоляцией конденсаторного типа под рабочим напряжением / А. Н. Рассальский, А. А. Сахно, С. П. Конограй [та ін.] // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – 2009. – № 2. – С. 53–55.
52. Мордкович А. Г. О построении подсистем мониторинга, управления и диагностики оборудования подстанций сверхвысокого напряжения и их интеграции в АСУ ТП ПС / А. Г. Мордкович, П. А. Горожанкин // *Электрические станции*. – 2007. – № 6. – С. 44–54.
53. Development of the Remote Monitoring and Diagnosis System for High Voltage Substation / J. B. Kim, M. S. Kim, J. R. Jung [at al.] // *CIGRE, Session*. – Paris, 2004. – P. B5–108.
54. Гребченко Н. В. Предотвращение повреждения электрооборудования электроэнергетических систем / Н. В. Гребченко // *Електротехніка і енергетика : наукові праці ДонНТУ*. – 2008. – Вип. 8(140). – С. 19–22.
55. Сучасні інформаційні технології у вирішенні задач електротехніки та підвищення надійності електротехнічного обладнання / Н. А. Шидловська, Ю. М. Васецький, М. В. Мислович, І. В. Хімюк // *Техн. електродинаміка*. – 2011. – № 6. – С. 55–63.
56. Рубаненко О. Є. Нейро-нечітке моделювання в задачах оперативного діагностування електрообладнання / О. Є. Рубаненко // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. – 2007. – № 597. – С. 14–19.
57. Лежнюк П. Д. Використання генетичних алгоритмів в оперативній діагностиці обладнання ЕЕС / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, М. І. Пиріжок // *Математичне і комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки*. – 2008. – Вип. 1. – С. 119–130.
58. Нечеткие алгоритмы оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса электрооборудования / Н. В. Костерев, Е. И. Бардик, Р. В. Вожаков, Т. Ю. Курач // *Електротехніка і енергетика : наукові праці ДонНТУ*. – 2008. – Вип. 8(140). – С. 65–70.
59. Костерев Н. В. Нечеткое моделирование электрооборудования для оценки технического состояния и принятия решений о стратегии дальнейшей эксплуатации / Н. В. Костерев, Е. И. Бардик // *Технічна електродинаміка*. – 2006. – Ч. 3. – С. 39–43.
60. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации / Б. В. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов [та ін.] // *Электрические станции*. – 2001. – № 9. – С. 53–58.

61. Problems of autotransformers operation in system with fault currents upgrowth / V. S. Bogomolov, N. N. Rhublarov, M. Yu. Lvov [at al.] // CIGRE, Session. – 2000, № 12 – P. 106.

62. IEC 60076-7 Ed. 1: Power transformers – Part: 7 Loading guide for oil-immersed power transformers, vol. 14/512/FDIS, Sept. 2005.

63. Конограй С. П. Применение модели старения твердой изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов для их диагностики в режиме эксплуатации / С. П. Конограй // *Електротехніка і електро-механіка*. – 2010. – № 1. – С. 43–45.

64. Киреева Э. А. Возможные неисправности силовых трансформаторов и их ремонт / Э. А. Киреева, С. А. Цырук // *Главный энергетик*. – 2009. – № 2. – С. 20–25.

65. Вопросы повышения надежности работы блочных трансформаторов / Б. В. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов [та ін.] // *Электрические станции*. – 2003. – № 7. – С. 38–42.

66. Лоханин А. К. Обеспечение работоспособности маслонаполненного высоковольтного оборудования после расчетного срока службы / А. К. Лоханин, В. В. Соколов // *Электро*. – 2002. – № 1. – С. 10–16.

67. Алексеев Б. А. Продление срока службы силовых трансформаторов. Новые виды трансформаторного оборудования. СИГРЭ-2002 / Б. А. Алексеев // *Электрические станции*. – 2003. – № 7. – С. 63–69.

68. Improvement in maintenance and pursuit of effectiveness of transformers in Japan. / T. Kawamura, Y. Fushimi, T. Shimato [at al.] // CIGRE – 2002. – № 12. – P. 107.

69. Алексеев Б. А. Обследование состояния силовых трансформаторов. СИГРЭ-2002. / Б. А. Алексеев // *Электрические станции*. – 2006. – № 6. – С. 74–80.

70. Никонець Л. О. Стратегія істотного підвищення надійності роботи електрообладнання 6–35 кВ з обмотками високої напруги / Л. О. Никонець, Є. І. Федів, М. М. Молнар // *Наукові праці ДонНТУ – Електротехніка і енергетика*. – 2008. – Випуск 8 (140). – С. 38–41.

71. Ковалев А. П. Оценка надежности обмотки трансформатора в динамическом режиме / А. П. Ковалев, М. А. Нагорный, И. Я. Чернов, О. А. Шевченко, Л. А. Шевченко // *Електротехніка і енергетика : наукові праці ДонНТУ*. – 2008. – Вип. 8 (140). – С. 221–223.

72. Эксплуатация силовых трансформаторов при достижении предельно допустимых показателей износа изоляции обмоток / Б. В. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов, Л. Н. Шифрин // *Электрические станции*. – 2004. – № 2. – С. 63–65.

73. Результаты длительной периодической диагностики силовых трансформаторов / Ю. П. Аксенов, А. В. Голубев, В. И. Завидей [и др.] // *Главный энергетик*. – 2006. – № 11. – С. 23–28.

74. Поляков М. А. Исследование температуры наиболее нагретой точки силового трансформатора / М. А. Поляков, С. И. Климов // *Еле-*

ктромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : матеріали конференції. – Кременчук, – 2010. – С. 528–530. – Режим доступу: <http://esmo.kdu.edu.ua/publ/2010.pdf>.

75. Анчарова Т. В. Повышение эксплуатационной надежности трансформаторов, отработавших нормативный срок службы / Т. В. Анчарова // Главный энергетик. – 2009. – № 1. – С. 36–41.

76. Опыт диагностики и ремонтов силовых трансформаторов для повышения надежности эксплуатации и продления срока службы / А. П. Долин, Н. Ф. Першина, Л. Ю. Ленков, В. В. Смекалов // Главный энергетик. – 2006. – № 3. – С. 62–67.

77. Smekalov V. V. The Repair of Power Transformers with a Long Service Life / V. V. Smekalov, A. P. Dolin. // CIGRE, Session. – 2004, A2–212.

78. Долин А. П. Диагностика развивающихся дефектов силовых трансформаторов / А. П. Долин, А. Ю. Ленков // Электрические станции. – 2005. – № 5. – С. 49–53.

79. Smekalov V. V. Condition assessment and life extension of power transformer / V. V. Smekalov, A. P. Dolin, N. F. Pershina. // CIGRE, Session. – 2002. S 12 – 102, P. 1–6.

80. Васин В. П. Ресурс изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов / В. П. Васин, А. П. Долин // Электро. – 2008. – № 3. – С. 12–17.

81. Ванин В. П. Оценки выработанного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов / В. П. Ванин, А. П. Долин // Электро. – 2009. – № 2. – С. 37–41.

82. Оценка механического состояния обмоток крупных трансформаторов без их разборки / В. Н. Осотов, В. Н. Рущинский, В. В. Рущинский [и др.] // Электрические станции. – 2003. – № 6. – С. 51–57.

83. Тепловизионный контроль генераторов и импульсное дефектографирование силовых трансформаторов / А. Ю. Хренников, А. Ф. Еганов, В. Б. Курылев [и др.] // Электрические станции. – 2001. – № 8. – С. 48–52.

84. Хренников А. Ю. Диагностика силовых трансформаторов в Самараэнерго методом низковольтных импульсов / А. Ю. Хренников, О. М. Киков // Электрические станции. – 2003. – № 11. – С. 47–51.

85. Lapworth J. A. Transformer Winding Movement Detection by Frequency Response Analysis (FRA). / J. A. Lapworth, A. J. McGrail // Sixty-Sixth Annual International Conference of Doble Clients, 1999, April.

86. Тепловизионный контроль электротехнического оборудования и опыт диагностики силовых трансформаторов / А. Ю. Хренников, А. В. Рубцов, В. В. Щербаков, С. А. Языков // Электрические станции. – 2006. – № 5. – С. 63–67.

87. Воронов С. А. Применение тепловизионных систем для теплового неразрушающего контроля / С. А. Воронов, С. А. Мурахов, Н. А. Гордийко // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2002. – № 4. – С. 43–47.
88. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – М. : ЭНАС, 1998.
89. Попов В. Г. Алгоритм комплексной диагностики масляных трансформаторов / В. Г. Попов, Ю. Ю. Рогожников // Электрические станции. – 2003. – № 8. – С. 54–59.
90. Львов М. Ю. Развитие системы диагностики силовых трансформаторов / М. Ю. Львов // Электрические станции. – 2004. – № 10. – С. 11–14.
91. Сравнение различных методов мониторинга трансформаторов // Главный энергетик. – 2009. – № 8. – С. 52–55.
92. Ляпин А. Г. Комплексный подход к диагностике и оценке технического состояния энергетического оборудования / А. Г. Ляпин. А. А. Пимошин // Электрические станции. – 2005. – № 8. – С. 64–67.
93. Поляков М. А. От мониторинга параметров – к мониторингу состояний силового трансформатора / М. А. Поляков // Электротехника і Електромеханіка. – 2011. – № 1. – С. 49–52.
94. Pink T. Power Transformer Control System Developments providing improved reliability and increased overload capacity / T. Pink, P. Stewart // Proceeding of TechCon®2004 North America. – San Antonio, 2004. – P. 73–88.
95. Поляков М. А. Идентификация тепловых параметров масляного трансформатора по данным мониторинга параметров / М. А. Поляков // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту. – 2007. – № 11, ч.1(117). – С. 167–173.
96. Поляков М. А. Определение и использование показателя режима нагрузки силового трансформатора в системе мониторинга и управления трансформатором / М. А. Поляков // Электротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 2. – С. 51–54.
97. Система управления, мониторинга и диагностики трансформаторного оборудования СУМТО / А. Г. Мордкович, В. А. Туркот, А. А. Филиппов, Г. М. Цфасман // Электро. – 2007. – № 6. – С. 23–28.
98. Degradation of cellulosic insulation in power transformers. Part3: Effects of oxygen and water on ageing in oil. / A. M. Emsley, X. Xiao, R. J. Heywood, M. Ali // IEE Proc.-Sci. Meas. Technol. – 2000 – V. 147, No. 3.
99. Moisture Solubility for Differently Conditioned Transformer Oils. / Y. Du, A. V. Mamishev, B. C. Lesieutre, M. Zahn, S. H. Kang // IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2001. – V. 8, No. 5. – P. 805–811.

100. Tapan K. Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers / K. Tapan // IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2003. – V. 10, No. 5. – P. 903–917.

101. Hohlein I. Progress in Transformer Ageing Research. Impact on Moisture on DP of Solid Insulation and Furane Development in Oil at Transformer Service Temperatures / I. Hohlein, A. J. Kachler // CIGRE, Session. – Paris, 2004. – D1–309.

102. Пат. 105536 Российская Федерация, МПК H02H7/04. Мобильное устройство мониторинга, диагностики и защиты силовых трансформаторов без отключения их от нагрузки / Андреев К. А., заявитель и патентообладатель Андреев К. А. – № 20111108790/07 ; заявл. 09.03.2011 ; опубл. 10.06.2011.

103. Пат. 108855 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Стационарное устройство мониторинга, диагностики и защиты силовых трансформаторов без отключения их от нагрузки / Андреев К. А., заявитель и патентообладатель Андреев К. А. – № 2011108791/28 ; заявл. 09.03.2011 ; опубл. 27.09.2011.

104. Пат. 2389117 Российская Федерация, МПК H02J3/00. Система и способ централизованного мониторинга и управления режимов работы силовых трансформаторов, установленных на разных подстанциях и в центрах мониторинга / Вентурини Шейм Л. А., Жервину Силвейра Ж. Ж., заявитель и патентообладатель Сименс ЛТДА. – № 2008102140/09 ; заявл. 14.12.2005 ; опубл. 10.05.2010.

105. Пат. 2402139 Российская Федерация, МПК H02J13/00. Система и способ мониторинга и управления режимом работы силового трансформатора / Вентурини Шейм Л. А., Жервину Силвейра Ж. Ж., заявитель и патентообладатель Сименс ЛТДА. – № 2008102141/09 ; заявл. 14.12.2005 ; опубл. 20.10.2010.

106. СТО 56947007-29.200.10.XXX-2008. Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Общие технические требования. – Москва, 2008. (Стандарт «ФСК ЕЭС»).

107. Пат. 61173 Україна МКИ G01R31/06 Пристрій для моніторингу силових трансформаторів / Рассальський О. М., заявник та патентотримувач Рассальський О. М. – № 2003054346 ; заявл. 15.05.03 ; опубл. 17.11.03, Бюл. № 11.

108. Пат. 2361309 Российская Федерация, МПК H01F41/00. Устройство оценки технического состояния трансформатора по остаточному ресурсу / Лозовский В. В., Руденко Н. В., Просянных Г. Б., Тарасов А. Ю., заявитель и патентообладатель Лозовский В. В., Руденко Н. В., Просянных Г. Б., Тарасов А. Ю. – № 2008122799/09 ; заявл. 05.06.2008 ; опубл. 10.07.2009.

109. Пат. 2384879 Российская Федерация, МПК G06F17/18. Счетчик ресурса силового трансформатора / Ермаков В. Ф., Балыкин Е. С.,

Ермакова Е. В., заявитель и патентообладатель Ермаков В. Ф. – № 2008133797/09 ; заявл. 15.08.2008 ; опубл. 20.03.2010.

110. Пат. 2240571 Российская Федерация, МПК G01R31/06. Устройство контроля технического состояния обмоток трансформатора / Баширов З. А., Рыбаков Е. Р., Тюрин А. Н., Волошановский А. Ю., заявитель и патентообладатель Казанский государственный энергетический университет. – № 2003109299/09 ; заявл. 02.04.2003 ; опубл. 20.11.2004.

111. Пат. 2237254 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Способ диагностики силовых трансформаторов / Алюнов А. Н., Бабарушкин В. А., Булычев А. В., Гуляев В. А., заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет. – № 2003100586/09 ; заявл. 08.01.2003 ; опубл. 27.09.2004.

112. Пат. 2117955 Российская Федерация, МПК G01R31/06. Способ диагностики трансформаторов / Белолапатко А. И., Васильев А. Ф., Горлов В. П., Емельянов В. И., Косоруков С. Н., Лобанов В. А., Румянцев Г. К., Рущинский В. Н., Шанов М. Г., заявитель и патентообладатель Российский федеральный ядерный центр Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики. – № 97105740/09 ; заявл. 10.04.1997 ; опубл. 20.08.1998.

113. Пат. 2446406 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Способ диагностики силовых трехобмоточных трансформаторов / Бабарушкин В. А., Алюнов А. Н., Гуляев В. А., Смирнов И. Н., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет» (ВоГТУ). – № 2009126349/28 ; заявл. 08.07.2009 ; опубл. 27.03.2012.

114. Пат. 82867 Российская Федерация, МПК G01R31/00. Система диагностики маслонаполненных измерительных трансформаторов / Давиденко И. В., заявитель и патентообладатель Давиденко И. В. – № 2008150410/22 ; заявл. 19.12.2008 ; опубл. 10.05.2009.

115. Иващенко В. Е. Прибор для определения общего газосодержания в трансформаторном масле / В. Е. Иващенко, Л. З. Савкун, Т. С. Воронова, А. В. Рубцов // Электрические станции. – 2002. – № 4. – С. 107–108.

116. Пат. 2305291 Российская Федерация, МПК G01R31/06. Способ определения короткозамкнутых витков в электрических обмотках / Афонасов А. А., Корнеев А. В., Пригоркин Е. С., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н. А. Доллежаля». – № 2006113407/28 ; заявл. 21.04.2006 ; опубл. 27.08.2007.

117. Пат. 2399925 Российская Федерация, МПК G01R31/06. Устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов /

Чичёв С. И., Калинин В. Ф., Глинкин Е. И., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ГОУ ВПО «ТГТУ»). – № 2009128278/28 ; заявл. 21.07.2009 ; опубл. 20.09.2010.

118. Пат. 2245559 Российская Федерация, МПК G01R31/14. Переносное устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов / Рыбаков Л. М., Ахметшин Р. С., заявитель и патентообладатель Марийский государственный университет. – № 2003133332/28 ; заявл. 17.11.2003 ; опубл. 27.01.2005.

119. Пат. 103191 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Передвижная установка для диагностики силовых трансформаторов / Цицорин А. Н., заявитель и патентообладатель Цицорин А. Н. – № 2010142432/28 ; заявл. 19.10.2010 ; опубл. 27.03.2011.

120. Федоров Ю. А. Некоторые способы и устройства ускоренной диагностики силовых трехфазных трансформаторов / Ю. А. Федоров // Силовые трансформаторы и системы диагностики : материалы IV Международной конференции. – 2009.

121. Диагностика устройств регулирования напряжения силовых трехфазных трансформаторов / Г. М. Михеев, Ю. А. Федоров, В. М. Шевцов, С. Н. Баталыгин // Электрические станции. – 2006. – № 4. – С. 54–61.

122. Опыт диагностики силового трансформаторного оборудования / А. Ю. Хренников, О. М. Киков, В. А. Передельский [и др.] // Главный энергетик. – 2008. – № 10. – С. 13–16.

123. Алексеев Б. А. Контроль состояния устройств регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой / Б. А. Алексеев // Электро. – 2008. – № 4. – С. 41–46.

124. Monitoring tap-changer operations / T. Bengtsson, H. Kols, M. Foata, F. Leonard // CIGRE Session, 1998. – 12–209.

125. Economical aspects and practical experiences of power transformer on-line monitoring / P. Boss, P. Lorin, A. Viscardi [at al.] // CIGRE Session, 2000. – 12–202.

126. Domzalski T. Postępowanie po nagłym wylaczeniu transformatora z ruchu / T. Domzalski, W. Olech // Energetyka. – 1999. – V. 53, No. 9. – P. 411–419.

127. Якобсон И. Я. Наладка и эксплуатация переключающих устройств силовых трансформаторов. – М. : Энергоатомиздат, 1985.

128. Янсюкевич В. А. Методика проведения испытаний силовых трансформаторов всех напряжений и мощностей / В. А. Янсюкевич // Главный энергетик. – 2006. – № 8. – С. 55–67.

129. РДИ 34-38-058-91 Типовая технологическая инструкция. Трансформаторы напряжением 110–1150 кВ мощностью 80 МВА и более. Капитальный ремонт. Утверждено Главремтехэнерго 18.04.91г.

130. Баталыгин С. Н. Инженерные инновации в региональной электроэнергетике / С. Н. Баталыгин, Г. М. Михеев, В. М. Шевцов // Главный энергетик. – 2011. – № 5. – С. 9–12.

131. Михеев Г. М. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования. – М. : Додэка XXI, 2010. – 224 с.

132. Баталыгин С. Н. Автоматизация средств диагностики электрических цепей силовых высоковольтных трансформаторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.01 / Баталыгин Сергей Николаевич. – Ижевск, 2007. – 24 с.

133. Бітюков С. Д. Оптимізація споживання електроенергії на електричному транспорті з використанням інформації автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії / С. Д. Бітюков, В. Г. Кузнецов, В. Г. Сиченко // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – Вип. 3(26). – С. 39–44.

134. Могузов В. Ф. Обслуживание силовых трансформаторов (часть 2). – М. : Энергопрогресс, 2002. – 76 с.

135. Повреждение устройств регулирования напряжения трансформаторов // Главный энергетик. – 2008. – № 9. – С. 36–37. – Режим доступа: <http://gendocs.ru/v39127/?cc=9&view=pdf>.

136. Ремонт и диагностика трансформаторов – Режим доступа: http://0380.ru/?%A0Regulirovanie_napryazheniya_transformatora:Sposoby_regulirovaniya_napryazheniya_transformatora.

137. Лежнюк П. Д. Використання генетичного алгоритму при діагностуванні РПН трансформаторів / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, М. І. Пиріжок // Електротехніка і енергетика : наукові праці ДонНТУ. – 2008. – Вип. 8(140) – С. 175–178.

138. Рубаненко О. Є. Розробка та дослідження структури системи автоматичного керування нормальними режимами електроенергетичних систем / О. Є. Рубаненко, О. О. Рубаненко, К. І. Кравцов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4. – С. 40–45.

139. А. С. 1737378А1 СССР, МКИ G 01 R 31/02. Устройство для выявления дефектов переключающих устройств силовых трансформаторов / Якименко В. И., Расторгуев А. К., Полянчиков А. И. (СССР), заявитель и патентообладатель Производственное энергетическое объединение «Харьковэнерго». – № 4691442/21 ; заявл. 03.04.89 ; опубл. 30.05.92; Бюл. № 20.

140. Пат. 114234 Российская Федерация, МПК H02H3/08. Адаптивная система резервной защиты с контролем положения РПН трансформаторов ответственных подстанций / Нагай И. В., Киреев П. С., Переснянов И. В., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный технический университет» (Новочеркасский политехнический институт) – № 2011127357/07 ; заявл. 22.08.2011 ; опубл. 10.03.2012.

141. Пат. 2274945 Российская Федерация, МПК H02P13/06. Способ переключения ответвлений обмотки трансформатора и устройство для его осуществления / Аржанников Б. А., Фролов Л. А., Штин А. Н., заявитель и патентообладатель Аржанников Б. А. – № 2004127292/09 ; заявл. 13.09.2004 ; опубл. 20.04.2006.

142. Пат. 2314545 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Способ диагностики цепей токоограничивающих сопротивлений, установленных на симметричных плечах контактора быстродействующих РПН силовых трансформаторов / Михеев Г. М., Михеева Т. Г., заявитель и патентообладатель Михеев Г. М., Михеева Т. Г. – № 2006130933/09 ; заявл. 28.08.2006 ; опубл. 10.01.2008.

143. Пат. 2316778 Российская Федерация, МПК G01R31/00. Способ устранения влияния неодновременности переключения однофазных РПН силовых трехфазных автотрансформаторов на осциллографируемые токи контактов контакторов и устройство для его осуществления / Федоров Ю. А., Михеев Г. М., Шевцов В. М., Михеева Т. Г., заявитель и патентообладатель Федоров Ю. А., Михеев Г. М., Шевцов В. М., Михеева Т. Г. – № 2006127787/09 ; заявл. 31.07.2006 ; опубл. 10.02.2008.

144. Пат. 2321866 Российская Федерация, МПК G01R31/02. Способ диагностики цепей дугогасительных контактов РПН типа РНТА / Михеев Г. М., Михеева Т. Г., заявитель и патентообладатель Михеев Г. М., Михеева Т. Г. – № 2006124688/28 ; заявл. 10.07.2006 ; опубл. 10.04.2008.

145. Пат. 2342673 Российская Федерация, МПК G01R31/333. Способ и устройство для снятия временной диаграммы избирателя и контактора быстродействующего РПН / Михеев Г. М., Шевцов В. М., Михеева Т. Г., заявитель и патентообладатель Михеев Г. М., Шевцов В. М., Михеева Т. Г. – № 2006134816/28 ; заявл. 02.10.2006 ; опубл. 10.04.2008.

146. Пат. 2304345 Российская Федерация, МПК H02P13/00. Способ снятия в силовых трансформаторах круговой диаграммы регулятора под нагрузкой и устройство для его осуществления / Михеев Г. М., Федоров Ю. А., Баталыгин С. Н., Шевцов В. М., заявитель и патентообладатель ООО «Инженерный центр». – № 2005139623/09 ; заявл. 19.12.2005 ; опубл. 10.08.2007.

147. Пат. 2290653 Российская Федерация, МПК G01R31/333. Способ оценки в силовых трехфазных трансформаторах параметров процессу переключения контактов контактора быстродействующего регулятора под нагрузкой без его вскрытия и устройство для его осуществления / Федоров Ю. А., Михеев Г. М., Шевцов В. М., Баталыгин С. Н., заявитель и патентообладатель Федоров Ю. А., Михеев Г. М., Шевцов В. М., Баталыгин С. Н. – №2004137182/28 ; заявл. 20.12.2004 ; опубл. 27.12.2006.

148. Система мониторинга TAPGUARD®260. Инструкция по эксплуатации ВА 301/04. – Режим доступа: www.reinhausen.com/ru/XparoDownload.ashx?raid=21442.

149. Грабко В. В. Модифікований закон регулювання напруги сило-вим трансформатором з пристроєм регулювання під навантаженням та особливості його реалізації / В. В. Грабко, І. В. Бальзан // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 281–285.

150. Бальзан І. В. Мікропроцесорний засіб для реалізації закону регулювання напруги за допомогою силового трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням / І. В. Бальзан // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 1. – С. 106–109.

151. Бальзан І. В. До питання регулювання напруги за допомогою силових трансформаторів з пристроями РПН / І. В. Бальзан // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах – 2012 : матеріали ХХІ міжнародної науково-технічної конференції. – Хмельницький, 2012. – С. 81.

152. Грабко В. В. Регулювання напруги в електричних мережах у задачах надійності електропостачання та енергозбереження / В. В. Грабко, І. В. Бальзан // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 39–40.

153. Грабко В. В. Закон керування електромеханічною системою регулювання напруги на основі силового масляного трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням / В. В. Грабко, І. В. Бальзан // Електромеханічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03(79). – С. 357–358.

154. Львов М. Ю. Дворівнева система регулювання напруги електротехнічних пристроїв : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.09.03 / Ілля Юрійович Львов ; Нац. ун-т «Львів. Політехніка». – Л., 2003. – 19 с.

155. Круглов В. В. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. – М. : Физматлит, 2001. – 221 с.

156. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.; пер. с польск. И. Д. Рединского. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

157. Макеева А. В. Основы нечеткой логики : учебное пособие для вузов. – Н. Новгород : ВГИПУ, 2009. – 59 с.

158. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.

159. Леоненко А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб. : БВХ-Петербург, 2003. – 736 с.

160. Гладков Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик ; под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.

161. Кондратенко Н. Р. Оптимізація багатоекстремальних функцій за допомогою одного генетичного алгоритму / Н. Р. Кондратенко, С. М. Кузьменко // Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2002. – № 1. – С. 42–47.

162. Дьяконов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб. : Питер, 2001. – 480 с.

163. Грабко В. В. Визначення коефіцієнта впливу трансформатора нижнього рівня в задачі регулювання напруги за допомогою трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням / В. В. Грабко, І. В. Бальзан, // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – Вип. 3 (19). – С. 508–511.

164. Бальзан І. В. Визначення коефіцієнта впливу в задачі оптимального регулювання напруги трансформатором з пристроєм РПН / І. В. Бальзан // Контроль і управління в складних системах : XI міжнародна конференція, 9–11 жовтня 2012 р. : тези допов. – Вінниця : ВНТУ. – 2012. – С. 141–142.

165. Бальзан І. В. Мікропроцесорний пристрій для діагностування обмоток силового масляного трансформатора / І. В. Бальзан // Оптимальне керування електроустановками : I міжнародна науково-технічна конференція, 25–27 жовтня, 2011 р. : тези доповідей. – Режим доступу: http://conf.vntu.edu.ua/energo/2011/tezy_dopov.pdf.

166. Грабко В. В. Математична модель та засіб для діагностування пристрою регулювання під навантаженням силового трансформатора / В. В. Грабко, І. В. Бальзан // Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – 2013. – Вип. 2 (22), ч. 2. – С. 389–392.

167. Грабко В. В. Визначення залишкового робочого ресурсу пристрою РПН силового масляного трансформатора / В. В. Грабко, І. В. Бальзан // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах : I міжнародна наукова конференція, 18–20 жовтня, 2011 р. : тези доповідей. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – С. 157.

168. Иванов В. Н. Проектирование аналоговых систем на специализированных БИС / В. Н. Иванов, В. В. Иванов. – Л. : ЦНИИ «Румб», 1988. – 139 с.

169. Тетельбаум И. М. Практика аналогового моделирования динамических систем : справочное пособие. / И. М. Тетельбаум, Ю. Р. Шнейдер. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.

170. Захаров В. Н. Системы управления – Задание. Проектирование. Реализация. / В. Н. Захаров, Д. А. Поспелов, В. Е. Хазацкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1977. – 424 с.

171. Захаров В. Н. Автоматы с распределенной памятью. – М. : Энергия, 1975. – 136 с.
172. Грабко В. В. Технічне діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв електропривода : монографія / В. В. Грабко, С. М. Бабій. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 106 с.
173. Грабко В. В. Система автоматичного керування трансформаторами з повздовжньо-поперечним регулюванням напруги під навантаженням: монографія / В. В. Грабко, С. М. Левицький. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 119 с.
174. Грабко В. В. Діагностування трансформаторів власних потреб та систем технологічних захистів енергоблока теплової електростанції : монографія / В. В. Грабко, Д. О. Березницький. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 124 с.
175. Игумнов Д. В. Основы микроэлектроники : учеб. для техникумов по спец. «Производство изделий электр. техники». / Д. В. Игумнов, Г. В. Королев, И. С. Громов. – М. : Высш. шк., 1991. – 254 с.
176. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники : учеб. пособие для вузов / И. П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 488 с.
177. Москатов Е. А. Электронная техника / Е. А. Москатов. – Таганрог, 2004. – 121 с.
178. Нефедов В. И. Основы радиоэлектроники и связи : учеб. пособие / В. И. Нефедов, А. С. Сигов ; под ред. В. И. Нефедова. – М. : Высш. шк., 2009. – 735 с.
179. Хартов В. Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих / В. Я. Хартов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 240 с.
180. Евстифеев А. В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL / А. В. Евстифеев. – 3-е изд., стер. – М. : Додэка-XXI, 2006. – 288 с.
181. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. / Сост. Ю. А. Шпак – К. : МК-Пресс, 2006. – 400 с.
182. Алексенко А. Г. Применение прецизионных аналоговых микросхем. / А. Г. Алексенко, Е. А. Коломбет, Г. И. Стародуб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1985. – 304 с.
183. Шило В. Л. Популярныe цифровые микросхемы : справочник. – М. : Радио и связь, 1987. – 352 с.
184. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы : справочник / С. В. Якубовский, Л. И. Ниссельсон, В. И. Кулешова и др. ; под ред. С. В. Якубовского. – М. : Радио и связь, 1990. – 496 с.
185. Хоровиц П. Искусство схемотехники : в 3 т. Т. 3 / П. Хоровиц, У. Хилл. – 4-е изд. перераб и доп. – М. : Мир, 1993. – 367 с.
186. Титце У. Полупроводниковая схемотехника : в 2 т. Т. 2 / У. Титце, К. Шенк. – 12-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 942 с.

187. Пат. 65179 України, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для діагностування силового масляного трансформатора / В. В. Грабко, В. В. Грабко, І. В. Бальзан, заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201106402 ; заявл. 23.05.2011 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

188. Пат. 69641 України, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для діагностування силового масляного трансформатора / Грабко В. В., Бальзан І. В., заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201111889 ; заявл. 10.10.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

189. Пат. 83332 України, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для контролю роботи пристрою регулювання під навантаженням силового трансформатора / Грабко В. В., Бальзан І. В. заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201214130 ; заявл. 11.12.2012 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.

190. Пат. 63658 України, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для діагностування силового масляного трансформатора / Грабко В. В., Грабко В. В., Бальзан І. В., заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201106384 ; заявл. 23.05.2011 ; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.

191. Пат. 69642 України, МПК G 01 R 31/06. Пристрій для діагностування силового масляного трансформатора / Грабко В. В., Бальзан І. В., заявник і патентоутримувач Вінницький національний технічний університет. – № u201111890 ; заявл. 10.10.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

192. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навчальний посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков [та ін.]. – К. : Либідь, 2005. – 680 с.

193. Юхимчук С. В. Автоматизация проектирования систем автоматического управления : учеб. пособие. / С. В. Юхимчук, В. Н. Лысогор, В. Ю. Марущак – К. : УМ ВО, 1989. – 172 с.

194. Жорняк Л. Б. Моделирование работы системы регулирования напряжения силового трансформатора с устройством РПН для повышения качества электроснабжения энергоемких производств / Л. Б. Жорняк, В. И. Осинская, И. Ю. Скиба // Вісник НТУ «ХПІ». – 2011. – № 4. – С. 14–19.

195. Жорняк Л. Б. Исследование методов моделирования работы системы регулирования напряжения силового трансформатора с устройством РПН для повышения качества электроснабжения потребителей электроэнергии / Л. Б. Жорняк, В. И. Осинская // Електротехніка та електромеханіка. – 2007. – № 4. – С. 15–21.

196. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

197. Дьяконов В. П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.
198. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца / К. Максфилд. – М. : Додэка-XXI, 2007. – 408 с.
199. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы «Altera»: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. – М. : Додэка-XXI, 2002. – 576 с.
200. Микроконтроллер. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80>.
201. Технічна документація на мікроконтролер Atmel AtMega16. Datasheet. – Режим доступу: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>.
202. Технічна документація на ПЛІС MAX7000S:EPM7128SLC84-7. Datasheet. – Режим доступу: <http://www.altera.com/literature/ds/m7000.pdf>.
203. Zainalabedin Navabi. Digital Design and Implementation with Field Programmable Devices / Navabi Zainalabedin. – Kluwer : Academic Publishers, 2005. – 293 p.
204. Инструкция по монтажу и эксплуатации устройства переключения ответвлений обмотки трансформатора под нагрузкой РНОА – 35/1000. ОВБ. 412.424. – 1972. – 89 с.
205. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов / Л. А. Бессонов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1978. – 528 с.
206. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами : підручник для студ. вищ. навч. закл. / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацев, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький ; за ред. Ю. О. Карпова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. – 377 с.
207. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола : підручник для студ. вищ. навч. закл. / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацев ; за ред. Ю. О. Карпова. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2011. – 530 с.
208. Эксперименты с акселерометром. Руководство разработчика по микроконтроллерам семейства HCS08. – Режим доступа: http://www.symmetron.ru/suppliers/freescale/HCS08_13_h-1-6.shtml.
209. Акселерометры цифровые с интерфейсами USB и RS-485 и акселерометры с аналоговыми выходами. – Режим доступа: <http://accelerometer.narod.ru>.

Наукове видання

Грабко Володимир Віталійович

Бальзан Ігор Вікторович

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС
РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ
ТРАНСФОРМАТОРОМ З РПН**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено авторами

Підписано до друку 22.03.2016 р.

Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. др. арк. 7,39.

Наклад 300 (1-й запуск 1–75) пр. Зам № В2016-06

Вінницький національний технічний університет,

КІВЦ ВНТУ,

21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Тел. (0432) 59-85-32.

publish.vntu.edu.ua; *email*: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.

21021, м. Вінниця, вул. Порика, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.