

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

БАБЮК СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.3.088.7

**УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНОК
ПАРАМЕТРІВ НАЛАШТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ СИГНАЛІВ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗА НАВАНТАЖЕННЯМ**

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Євтух Петро Сильвестрович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
завідувач кафедри систем електроспоживання та комп'ютерних технологій в електроенергетиці.


Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Карпінський Микола Петрович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
професор кафедри комп'ютерних наук;

кандидат технічних наук, доцент
Лишук Віктор Васильович,
Луцький національний технічний університет,
доцент кафедри фізики і електротехніки.

Захист відбудеться „30” листопада 2012 р. об 11 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради К58.052.01 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, Україна, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, корп. 2, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий „26” жовтня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К58.052.01  **Б.Г. Шелестовський**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відомо, що більше ніж 15% генерованої електростанціями України електроенергії не обліковується, а, відповідно, не оплачується, та втрачається по причині прихованого відбору. Велика частка цих витрат пов'язана з недосконалістю існуючих технічних засобів комерційного обліку електроенергії. Неконтрольовані втрати електроенергії при її розподілі та передачі пов'язані з високовольтними джерелами сигналів фізичних величин, тобто значеннями струму, напруги, потужності. Вказані параметри значною мірою визначають ефективність функціонування систем релейного захисту та автоматики (РЗА), систем комерційного обліку електроенергії та контролю режимних параметрів.

До джерел сигналів висувають жорсткі вимоги з точки зору надійності та точності. Наприклад, спотворення інформації значень струмів в перехідних режимах призводить до затримки спрацювання РЗА, що знижує надійність роботи електроенергетичного обладнання, призводить до виникнення серйозних системних аварій, як в первинних, так і у вторинних колах технічних засобів обліку електричної енергії.

В електроенергетичній галузі України в масовій експлуатації знаходяться електромагнітні джерела сигналів струму та напруги, повна заміна яких неможлива з технічних та економічних причин. Тому, необхідно розробити моделі підвищення точності діючих джерел сигналів.

Розроблені на сьогоднішній день математичні моделі не дозволяють описати джерела сигналів (ДС) з необхідною точністю в умовах експлуатації. Причиною є те, що вимірювані показники неконтрольовано змінюються в залежності від навантаження у вторинному колі, тобто від технологічних вимог. Постає необхідність розробки математичних моделей, які б дозволили підвищити точність джерел сигналів струму (ДСС) та джерел сигналів напруги (ДСН) в умовах реальної експлуатації, побудови спеціальних алгоритмів, які б узгоджували етапи вимірювання та обчислення отриманих значень струму, напруги, потужності.

Тому, актуальним є удосконалення математичних моделей функціонування високовольтних джерел сигналів для підвищення точності їх характеристик в процесі експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана відповідно до плану науково-дослідної роботи Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на 2009-2011 роки "Виявлення та облік прихованого відбору електроенергії у високовольтних мережах методами комп'ютерних технологій" (державний реєстраційний номер РК0109U002293).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення та розвиток математичного моделювання режимів функціонування високовольтних вимірювальних джерел сигналів для визначення та підвищення точності їх характеристик в процесі експлуатації.

Основні задачі дослідження. Для досягнення визначеної мети необхідно було розв'язати наступні основні задачі:

1. Провести аналіз математичних моделей визначення характеристик високовольтних джерел сигналів струмів та напруг.
2. Проаналізувати та дослідити залежність режимів роботи джерел високовольтних сигналів від умов їх експлуатації.
3. Розробити математичні моделі для визначення характеристик та налаштування джерел сигналів напруги в процесі експлуатації.
4. Розробити методи та засоби для визначення характеристик та налаштування джерел сигналів струму в процесі експлуатації.
5. Розробити ефективний алгоритм для корекції точності характеристик високовольтних джерел сигналів в умовах експлуатації.

Об'єкт дослідження – високовольтні джерела сигналів електроенергетичних систем.

Предмет дослідження – математичні моделі оцінок параметрів налаштування високовольтних джерел сигналів електроенергетичних систем за навантаженням у реальних умовах.

Методи дослідження. Використовувалися методи теорії математичного та схемотехнічного моделювання, методи розв'язування лінійних і нелінійних рівнянь, теорія електричних систем, теорія похибок, теорія математичного моделювання для побудови математичних моделей оцінок параметрів налаштування джерел сигналів електроенергетичних систем за навантаженням. При розробленні алгоритмів і програм використовувалися методи прикладного програмування та матричної алгебри.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

– вперше одержано математичну модель визначення характеристик по напрузі та за кутом втрат джерел сигналів напруги, в яких вводяться розрахункові значення поправок на основі паспортних даних ДСН в залежності від режимів роботи, що дасть можливість підвищити точність систем вимірювання потужності та обліку електроенергії без відключення від мережі;

– удосконалено математичну модель оцінки характеристики джерел сигналів струму, в якій значення струмової та кутової складових характеристик визначаються різницею кута зсуву фаз між векторами $e.p.c.$, що наводиться магнітним потоком осердя, та вектором вторинного струму, на основі встановлення додаткових опорів, що дає можливість підвищити точність характеристик ДСС без відключення від мережі;

– розроблено методику експериментального визначення характеристик точності за струмом та кутом втрат ДСС без виткової поправки за оцінкою відношення зміни навантаження у вторинному колі до зміни значення вектора вторинного струму;

– дістала подальший розвиток побудова алгоритмів автоматичної корекції характеристик високовольтних джерел сигналів введенням поправок до першого значення вимірюваної величини.

Практичне значення одержаних результатів

Отримані результати досліджень дисертаційної роботи можна застосовувати у наступних напрямках:

- створення конкурентоспроможної методики визначення балансів електроенергії у електричних мережах для підвищення надійності електропостачання;
- створення нових засобів оцінювання кількості споживаної електроенергії у високовольтних мережах;
- створення на основі розроблених математичних моделей та алгоритмів заходів по зниженню втрат електроенергії, підвищенню рівня показників якості електроенергії;
- більш точного налаштування кіл релейного захисту та автоматики в системах електропостачання;
- на ВАТ “Тернопільобленерго” при налаштуванні кіл релейного захисту, та в колах обліку при визначенні балансу електроенергії;
- при розробці сучасних систем телемеханіки на ВАТ “ТКБР “Стріла”;
- при підготовці фахівців електроенергетичного профілю у ВНЗ та на курсах підвищення кваліфікації електротехнічного персоналу.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та практичні дослідження за темою дисертаційної роботи виконані автором самостійно. У роботі [1] проведено дослідження моделей характеристик джерел сигналів напруги, у роботі [2] проведено обґрунтування та вибір алгоритмів для автоматичної корекції характеристик джерел сигналів, а саме: мультиплікативної, адитивної та адитивно-мультиплікативної складових похибки, а також похибок при вимірюванні комплексних величин у роботі [3] проведено визначення величини остаточної похибки джерел сигналів напруги, що скоректована за паспортними даними, а також доведено існування методу визначення характеристик джерел сигналів струму з низьковольтної сторони, які можуть бути застосовані у виробничих умовах для визначення похибки, близької до фактичної, при реальному навантаженні, у роботі [4] проведено дослідження впливу характеристик джерел сигналів на показники якості електричної енергії, у роботі [5] визначена оцінка граничної точності високовольтних джерел струмових сигналів на базі моделі побудованої за їх паспортними даними, також, визначена межа зниження похибки, яка досягається після компенсації систематичної складової похибки.

Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових конференціях: міжнародній науково-технічній конференції на базі Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 2009), XI міжнародній науково-технічній конференції, “Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації” (Кременчук, 2009 р.), всеукраїнській науково-технічній конференції Луцького державного технічного університету (Луцьк, 2009), міжнародній науково-технічній конференції “Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій” (Тернопіль, 2010), III-ій міжнародній науково-технічній конференції “Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах” (Луцьк, 2010), X-ій міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)” (Вінниця, 2010), XIII-ій міжнародній науково-технічній

конференції "Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика" (Кременчук, 2011), "Сучасний стан та перспективи розвитку світлотехніки та електроенергетики" на базі електромеханічного факультету (Тернопіль, 2011), IV Міжнародна науково-технічна конференція "Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи" (Тернопіль, 2012), IV Міжнародна науково-технічна конференція «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах» (Луцьк, 2012), наукові семінари кафедри систем електроспоживання та комп'ютерних технологій в електроенергетиці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, дисертація представлялась в цілому на науковому семінарі кафедри теоретичної та загальної електротехніки Національного університету "Львівська політехніка", та науковому семінарі кафедри інформаційно-вимірювальних систем Інституту інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 12 друкованих праць, з них 5 статей у фахових наукових виданнях, 7 тез на наукових конференціях та семінарах.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 120 найменувань та 4 додатків. Обсяг основного тексту роботи становить 149 сторінок, 30 ілюстрацій і 21 таблиці. Загальний обсяг роботи становить 215 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено об'єкт та предмет дослідження, зазначено методи дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про апробацію та публікації основних результатів роботи.

У **першому розділі** "Основні передумови для побудови математичних моделей характеристик високовольтних джерел сигналів під експлуатаційним навантаженням" розглянуті питання якості електричної енергії та впливу високовольтних джерел сигналів на якість та облік електричної енергії, подано коротку характеристику високовольтних ДС.

На основі проведеного аналізу втрат електроенергії при її передачі та розподілу, встановлено що підвищення якості електроенергії, точності систем вимірювання та обліку в високовольтних мережах обмежується впливом параметрів ДС: високовольтних джерел сигналів напруги (ДСН) та високовольтних джерел сигналів струму (ДСС). У більшості ДС їх характеристика спотворена похибкою, домінуючою величиною якої є мультиплікативна складова цієї похибки, яка носить систематичний характер. Це дає змогу здійснювати її компенсацію введенням поправок автоматично, за допомогою обчислювальних методів в режимі реального часу. Однак, не існує алгоритмів автоматичної компенсації систематичної складової похибок, що дозволило б проводити вибір найефективнішого методу компенсації, враховуючи величину мультиплікативної похибки в діапазоні величини вимірювання.

Роботи, присвячені дослідженню характеристик високовольтних ДС є традиційними для Інституту електродинаміки НАН України, цим дослідженням присвячені роботи таких вітчизняних вчених як: Варський Г.М., Євтух П.С., Рой В.Ф., Рудевіч Н.В., Стогній Б.С., Танкевич Є.М. Вагомий внесок внесли також ряд закордонних вчених: Андреев Ю.А., Громов П.И., Шваб А., Шеле К.-Х. та інші.

Проведеним аналізом встановлено, що визначення похибок ДС за класами їх точності дає лише межі, в яких можуть знаходитися ці похибки. Додаткове використання результатів приймально-здавальних випробувань кожного із джерел сигналів, що відображені в їх паспорті, дозволять ці межі значно звужити.

При проведенні аналізу виявлено, що ДСН та ДСС, що знаходяться в експлуатації в електричних мережах, працюють з класом точності 0,5. Точність їх характеристик є визначальними при визначенні балансу електроенергії та налаштуванні кіл РЗА. Тому, постає проблема забезпечення електроенергетичної галузі джерелами сигналів з вищим класом точності, які б забезпечували єдність контролю випробувань та ідентифікації, де обчислення похибок вимірювання здійснюється з врахуванням всієї множини отриманих значень.

Проблемам метрологічного забезпечення присвячені роботи Московської школи (ВНИИНС) під керівництвом М.А. Земельмана, В.П. Кузнецова; питанням підвищення точності ДС та зв'язку з елементами управління – роботи П.П. Орнатського, Є.Т. Володарського, В.І. Губара, Ю.М. Скрипника, К.І. Діденка, Б.Ф. Маркова, Я.Е. Біленького; питанням метрологічної надійності роботи ДС – роботи А.Є. Фрідмана, П.В. Новицького; питанням побудови математичних моделей з врахуванням похибок вимірювань – роботи Г.М. Солопченка, В.М. Ординцева, Б.Д. Колпака, П.С. Євтуха. За напрямком щодо забезпечення метрологічної надійності систем засобами бездемонтажного контролю ДС зробили вагомий внесок Ю.М. Туз, Ю.О. Слюсаренко, В.О. Поджаренко, Л.А. Назаренко та інші.

При аналізі напрямів забезпечення метрологічної надійності систем встановлено пріоритет використання засобів бездемонтажного контролю, що базуються на структурно-алгоритмічних методах, які стосуються застосування перетворювачів для компенсації похибок на базі високовольтних електромагнітних трансформаторів класу точності 0,2. Однак, раніше не розглядалися питання стійкості цих перетворювачів при великих значеннях коефіцієнтів підсилення по часу зворотнього зв'язку та вплив паразитних параметрів електромагнітної частини перетворювачів, також не враховувались похибки самих перетворювачів.

Проведений аналіз джерел за темою досліджень показав, що поряд зі значними досягненнями у розвитку теорії структурно-алгоритмічних методів ряд проблем залишається невирішеними, що стримує їх впровадження у системи бездемонтажного контролю ДС у реальних умовах експлуатації:

– не існує чіткої методики визначення характеристик високовольтних джерел сигналів в умовах експлуатації;

– не проведено теоретичних досліджень похибок нелінійності у задачах поточної безперервної корекції характеристик ДС з нелійними функціями перетворення;

– визначення характеристик джерел сигналів струму за класами їх точності, дає лише межі, в яких можуть знаходитися ці похибки.

У другому розділі “Моделі похибок високовольтних джерел сигналів напруги” здійснено побудову моделей характеристик по напрузі та за кутом втрат ДСН та встановлені режими роботи ДСН для отримання максимальної точності цих характеристик.

Встановлено, що точність системи вимірювання потужності та обліку електроенергії у високовольтних мережах суттєво залежить від точності характеристик ДСН, домінуючими складовими яких є систематичні складові характеристиками точності за напругою та за кутом втрат.

Оцінка похибки за напругою δU здійснюється за формулою:

$$U_1 = \hat{U}_1 \cdot (1 - 0,01 \cdot \delta U), \quad (1)$$

де U_1 – значення напруги ДСН у первинній обвитці, В; \hat{U}_1 – виміряне значення у первинній обвитці.

Аналіз режиму експлуатації високовольтних ДСН та зняті експериментальні залежності (на основі ДСН типу НКФ-110) показали що характеристики точності вимірювальних ДСН є лінійними в межах:

$$0,8U_1 \leq U_1 \leq 1,2U_1, \quad 0,25S_{2H} \leq S_2 \leq S_{2H}, \quad (2)$$

де U_1, S_2 - значення напруги у високовольтній обвитці та значення споживаної повної потужності у низьковольтній обвитці, що дозволяє представити модель характеристики точності як функцію $\delta U(U_1, S_2)$ у вигляді:

$$\delta \hat{U} = aS_2 + c\hat{U}_1 + g \quad (3)$$

де a, c, g , – коефіцієнти, які визначаються з паспортних даних ДСН, та з врахуванням (1) отримуємо модель характеристики точності за напругою:

$$U_1 = U_1 [1 - 0,01(aS_2 + cU_1 + g)] \quad (4)$$

Вираз (4) дає змогу отримати скоректовані значення вимірюваної величини на виході ДСН розрахунковим шляхом, де значення коефіцієнтів a, c, g визначаються за значенням характеристик точності ДСН у паспорті заводу-виробника з отриманих виразів:

$$a = \frac{4}{3S_{2H}}(\delta \hat{U}_2 - \delta \hat{U}_1); \quad c = \frac{2,5}{U_{1H}}(\delta \hat{U}_3 - \delta \hat{U}_1); \quad g = 3,33\delta \hat{U}_1 - 0,33\delta \hat{U}_2 - 2\delta \hat{U}_3. \quad (5)$$

де $\delta \hat{U}_1, \delta \hat{U}_2, \delta \hat{U}_3$ – значення характеристик точності за напругою ДСН отриманих на повірочній вимірювальній установці (К507) диференціально-нульовим методом.

Запропонована модель характеристики точності за напругою (4) перевірено експериментально на ДСН типу НКФ-110 (табл. 1), показала, що скоректоване значення вимірюваної величини відрізняється від виміряного на 0,4%.

Таблиця 1

Значення характеристик точності нормованих режимів експлуатації ДСН

типу НКФ-110

U_1 у % від $U_{1н}$	S_2 , ВА	δU_1 , %
80	100	0,31
80	400	-0,22
120	100	0,23
120	400	-0,3

Аналіз експериментальних даних щодо характеристики точності за кутом втрат ДСН показав, що у діапазоні режиму роботи $0,8U_1 \leq U_1 \leq 1,2U_1$, характеристика точності від зміни навантаження у низьковольтній обвитці змінюється лінійно, тобто характеристику можна подати рівнянням площини виду:

$$\Delta \hat{\phi}_U = a_U S_2 + c_U U_1 + g_U \quad (6)$$

де $\Delta \hat{\phi}_U$ – сумарне значення характеристики точності за кутом втрат; a_U, c_U, g_U – коефіцієнти, що визначаються з паспортних даних ДСН.

Враховуючи отримані значення коефіцієнтів

$$a_U = \frac{4}{3S_{2н}} (\Delta \hat{\phi}_{U2} - \Delta \hat{\phi}_{U1}); c_U = \frac{2,5}{U_{1н}} (\Delta \hat{\phi}_{U3} - \Delta \hat{\phi}_{U1}); g_U = 3,33\Delta \hat{\phi}_{U1} - 0,33\Delta \hat{\phi}_{U2} - 2\Delta \hat{\phi}_{U3}, \quad (7)$$

модель характеристики точності за кутом втрат ДСН отримає вид:

$$\Delta \hat{\phi}_U = \frac{4}{3S_{2н}} (\Delta \hat{\phi}_{U2} - \Delta \hat{\phi}_{U1}) S_2 + \frac{2,5}{U_{1н}} (\Delta \hat{\phi}_{U3} - \Delta \hat{\phi}_{U1}) U_1 + 3,33\Delta \hat{\phi}_{U1} - 0,33\Delta \hat{\phi}_{U2} - 2\Delta \hat{\phi}_{U3} \quad (8)$$

Аналіз за розробленою моделлю (8) систематичної складової характеристики точності за кутом втрат $\Delta \hat{\phi}_U$ показав доцільність введення поправки для компенсації впливу цієї складової.

Використовуючи отримані значення характеристик точності за напругою та кутом втрат високовольтних ДСН визначимо режими роботи з максимальною точністю характеристик (рис. 1, 2). Як видно з графіків залежності $\delta \hat{U}$ (рис. 1) та $\Delta \hat{\phi}_U$ (рис. 2), від зміни опору навантаження високовольтної обвитки можна отримати таке оптимальне його значення, при якому точність характеристик буде максимальною.

З отриманих результатів випливає, що оптимальний режим, при якому отримаємо максимальну точність характеристики по напрузі дещо відрізняється від режиму, при якому можна отримати максимальну точність характеристики за кутом втрат. Однак практика показує, що, в першу чергу, важливо домогтись максимальної точності характеристики по напрузі (амплітудної), тому що саме характеристика точності по напрузі найсуттєвіше впливає на результати вимірювань.

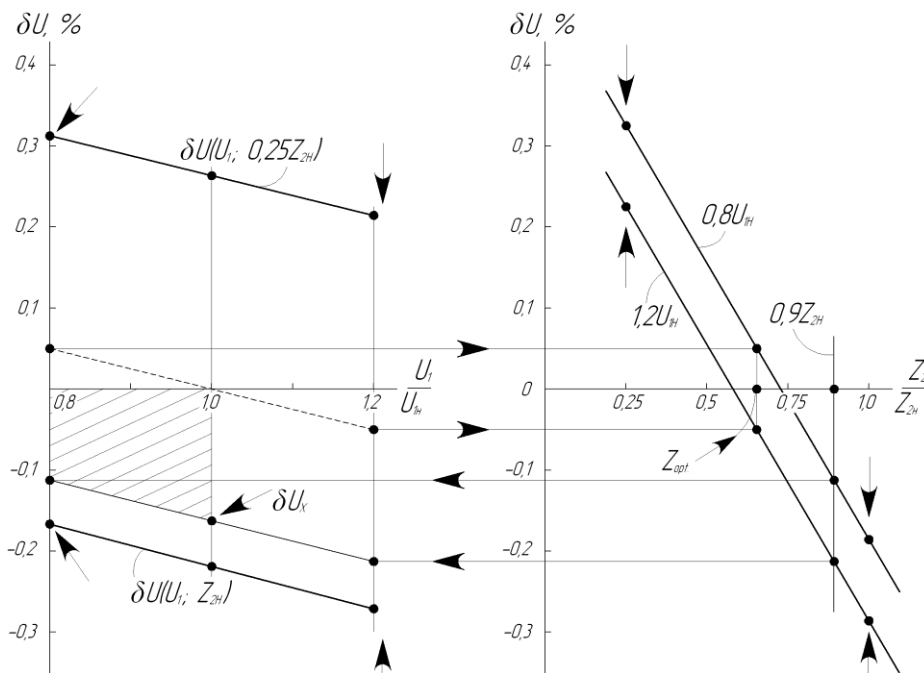


Рис. 1. Вибір режиму роботи ДСН з максимальною точністю по напрузі.

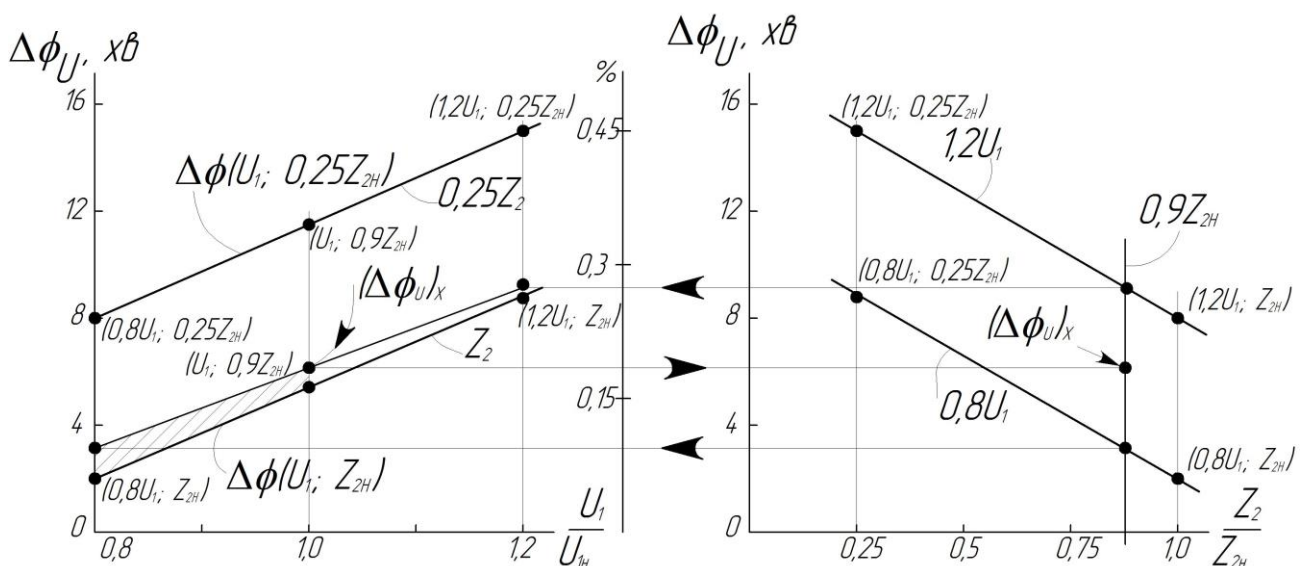


Рис. 2. Вибір режиму роботи ДСН з максимальною точністю за кутом втрат. Доведено, що залишкова похибка вимірювання рівна:

$$\delta U_0 = \frac{\check{U}_1 - U_1}{U_1} \cdot 100\% \quad (9)$$

і для зразкового ДСН заводу-виробника $-0,05 \leq \delta U_0 \leq 0,05$.

Таким чином підтверджено, що залишкова похибка ДСН не перевищує величини $\pm 0,05\%$.

Запропоновані у цьому розділі моделі характеристик точності по напрузі та за кутом втрат ДСН мають суттєві практичні переваги. Запропонований підхід побудови моделей дає змогу підвищити точність систем вимірювання потужності та обліку електроенергії у високовольтних колах без додаткових вимірювальних експериментів, розрахунковим шляхом, не виводячи ДСН з експлуатації, що у високовольтних мережах пов'язано з суттєвими труднощами. При цьому корекція

точності цих ДС може здійснюватись автоматично, за допомогою обчислювальних засобів, в режимі реального часу. Слід також відзначити, що запропонований підхід придатний для застосування в розрахунках точності схем релейного захисту.

У третьому розділі “Дослідження моделей характеристик високовольтних джерел сигналів струму в умовах експлуатації” розроблено модель та представлена методика для визначення характеристик ДСС, що дозволяє здійснювати контроль характеристик ДСС без відключення їх від високовольтної мережі безпосередньо в умовах робочого навантаження.

Процедура відключення ДСС в умовах експлуатації під навантаженням пов’язана із значними труднощами, оскільки вимагає відключення окрім пристроїв вимірювання кіл РЗА.

Аналіз досліджень показав, що створення методики визначення характеристик ДСС, які працюють під навантаженням, ґрунтується на визначенні виткової поправки та значень відносної струмової та кутової похибок ДСС. Значення характеристик залежать в основному від особливостей навантаження у низьковольтній обвитці, тобто змінюються в процесі експлуатації. Для розв’язку цієї задачі використано варіант диференціально-нульового методу, тобто зібрана схема з використанням установки К-507, еквівалентна електрична схема ДСС якого показана на рис. 2, де I'_1 – приведений первинний струм; I_{2i} – струм у вторинній обвитці; Z_{20} – повний опір навантаження вторинної вітки.

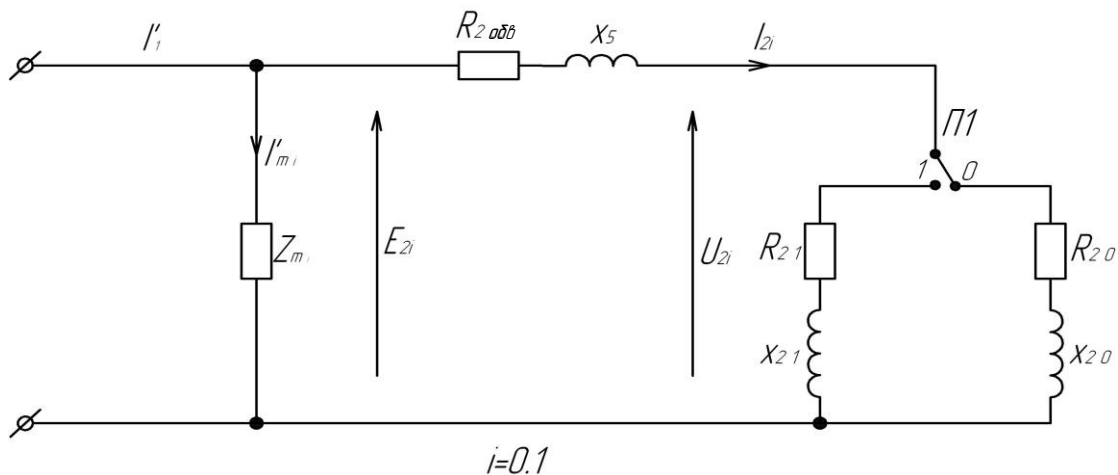


Рис. 3. Еквівалентна електрична схема ДСС.

Присутність у колі навантаження опору Z_{20} (рис. 3) порушує, в ідеальному випадку, рівність вторинного струму I_{2i} і зведеного первинного I'_1 за амплітудою і за напрямком дії на коефіцієнт трансформації k ($I'_{mo} = \frac{I_{mo}}{k}$). Побудована у відповідності до еквівалентної електричної схеми векторна діаграма ДСС (рис. 4), де Φ_{mo} – лінія вектора максимального магнітного потоку в магнітопроводі при робочому режимі ТС з підключеним навантаженням Z_{20} , ($i = 0$); B_{maxi} – лінія вектора максимальної індукції в магнітопроводі, яка співпадає з напрямком вектора Φ_{mi} ; E_{2i} – вектор е.р.с., що наводиться магнітним потоком сердечника Φ_{mi} ; α_i – кут зсуву фаз між векторами E_{2i} і I_{2i} ; Ψ_i – кут втрат, показала прояв

струмової похибки ДСС без виткової поправки δI_{ii}^H та кутової похибки $\Delta\Psi_i$. Тобто характеристика точності по струму визначається з виразу:

$$\delta I_{ii} = -\xi \sin(\psi + \alpha_0), \quad (10)$$

де $\xi = I'_{m0} / I'_1$,

та кутової похибки:

$$\Delta\psi = \xi \cos(\psi + \alpha_0) \quad (11)$$

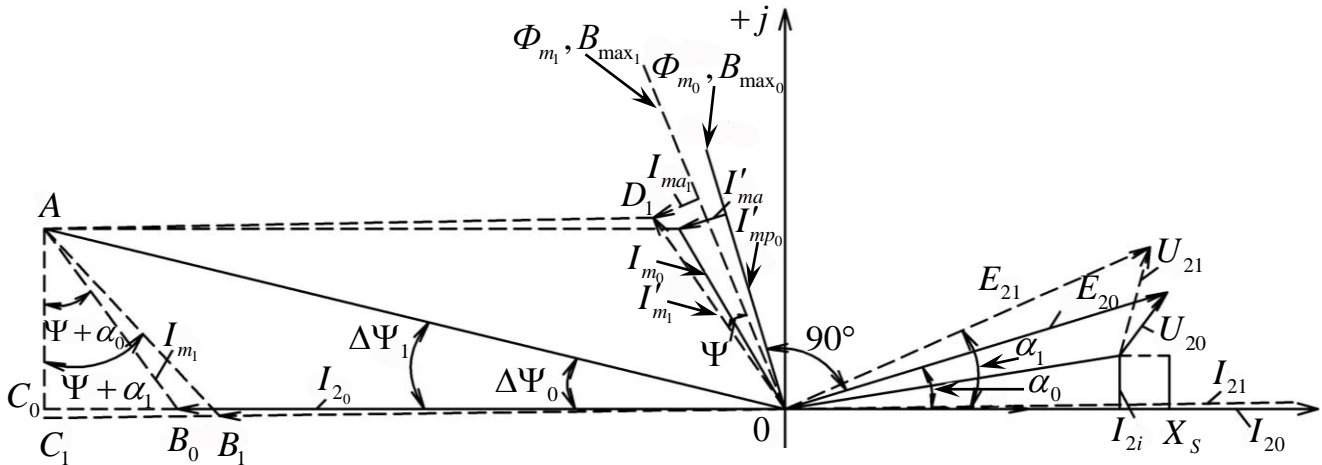


Рис. 4. Векторна діаграма ДСС.

Характеристики (10) і (11) є функціями від кута зсуву фаз (α_0) між векторами е.р.с., що наводиться магнітним потоком сердечника та вектором вторинного струму. Змінивши значення кута з α_0 на α_1 (шляхом зміни навантаження Z_{20} у вторинному колі) отримаємо зміну вектора вторинного струму на кут $\Delta\alpha$ ($\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_0$). Проаналізувавши цю залежність встановлено, що характеристики високовольтних ДСС повністю визначаються при знаходженні оцінок зміни вектора вторинного струму від зміни кута зсуву фаз (α_0), тобто встановлена можливість визначення характеристик високовольтних ДСС під навантаженням без відключення їх від мережі.

Проведений аналіз похідної співвідношення $\frac{\partial I_2}{\partial \alpha}$ дозволив встановити, що дійсна частина похідної визначається виразом:

$$\frac{\partial I_{2d}}{\partial \alpha} = -I_2 \cdot \Delta\psi, \quad (12)$$

а реактивна частина похідної – виразом:

$$\frac{\partial I_{2p}}{\partial \alpha} = I_2 \cdot \delta I_H, \quad (13)$$

тобто струмова (кутова) похибки (характеристики точності) δI_H , ($\Delta\psi$) повністю визначається при знаходженні оцінок $\partial I_{2a}(\partial I_{2p}), \partial \alpha$ та I_2 .

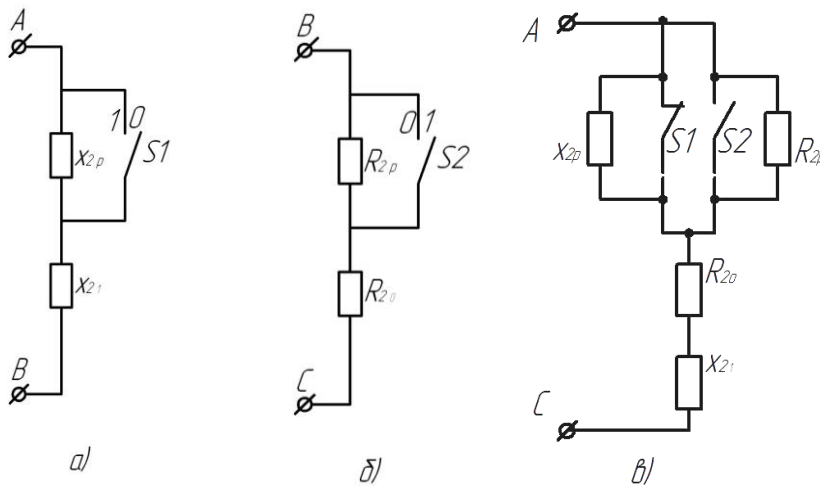


Рис. 5. Схеми технічної реалізації опорів в схемі практичної апробації запропонованого варіанту визначення похибки ДСС:

$$X_{2p} = X_{20} - X_{21}, \quad X_{21} = X_{20} - X_{2p}, \quad R_{2p} = R_{21} - R_{20},$$

$$Z_{2e} = R_{20} + jX_{21}, \quad R_{2p} = -X_{2p} \frac{X_{20}}{R_{20}}.$$

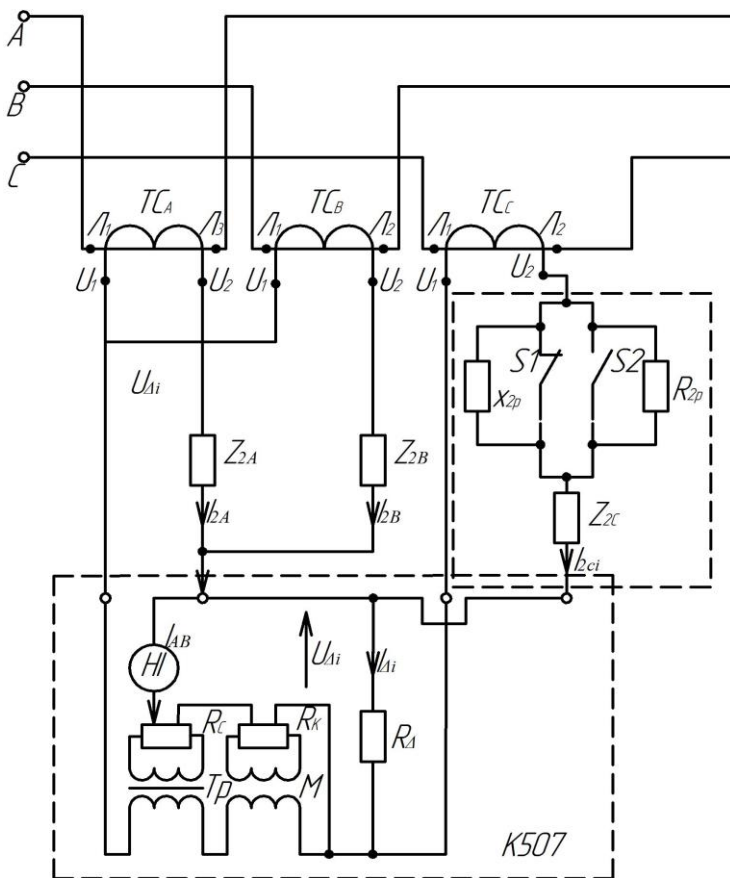


Рис. 6. Схема практичної апробації запропонованої методика визначення характеристик високовольтних ДСС.

З розрахованого відношення приросту $\Delta\alpha$ ($d\alpha$):

$$\Delta\alpha = 2 \arcsin \frac{[X_{21} - X_{20}]}{2(R_{20} + R_{2обв})}, \quad (14)$$

видно, що змінюючи схеми реалізації опорів (рис. 5) можна визначити відносну струмову та кутову похибку ДСС без виткової поправки.

Для експериментального визначення характеристик ДСС було використано схему диференціально-нульового методу (рис. 6), модифікуючи її таким чином, що в якості зразкового ДСС використовується

паралельне підключення ДСС двох фаз трифазного кола, а повірочним застосовується ДСС третьої фази. Таке підключення дозволяє знизити рівень вимірювальних сигналів і застосувати в цій модифікованій схемі вимірювань серійні диференціально-нульові пристрої типу К-507 (СА-507) або АИТ.

Запропонована методика експериментального визначення оцінки $\frac{\partial I_2}{\partial \alpha}$ в даній схемі полягає в наступному: вимірюється комплексний повний опір вторинного кола досліджуваного ДСС (вимірювання виконуються за допомогою диференціально-нульового апарату К507), за результатами цього комплексного повного опору визначається такий його приріст, який забезпечує збереження значення модуля повного опору вторинного кола

випробувального ДСС, на основі приросту якого розраховується приріст $\Delta\alpha$.

Схема працює наступним чином. Фазний струм в колі фази А дорівнює I_{1A} , фази В рівний I_{1B} , фази С - I_{1C} . В струмовій ланці фаз А, В і С ввімкнені відповідно вимірювальні ДСС: $ТС_A$, $ТС_B$ і $ТС_C$. Вторинні обвитки трансформаторів $ТС_A$ і $ТС_B$ включаються паралельно, вторинні обвитки ДСС $ТС_A$ ($ТС_B$) і $ТС_C$ ввімкнені зустрічно. У вторинне коло ДСС $ТС_A$ ($ТС_B$) включені опори \dot{Z}_A (\dot{Z}_B). У вторинне коло повірочного ДСС $ТС_C$ ввімкнені опори \dot{Z}_C , магазин опорів R_{2p} і опір \dot{Z}_{2g} . Якщо перемикач S знаходиться в положенні "0" ("1") то до вторинної обвитки випробувального ДСС $ТС_C$ підключено комплексний опір \dot{Z}_{20} (\dot{Z}_{21}).

За допомогою запропонованої схеми було проведено дослідження характеристик високовольтних ДСС на прикладі ТФЗМ-110 клас точності 0,5; режим експлуатації при $0,9Z_{2H}$; $0,7I_{1H} \div I_{1H}$ (рис. 7,8).

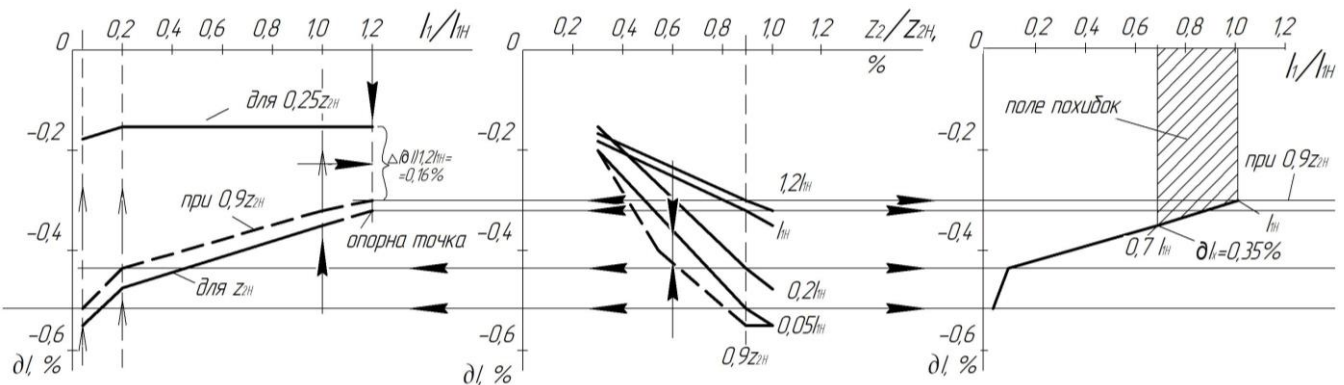


Рис. 7. Характеристика точності по струму ДСС типу ТФЗМ-110

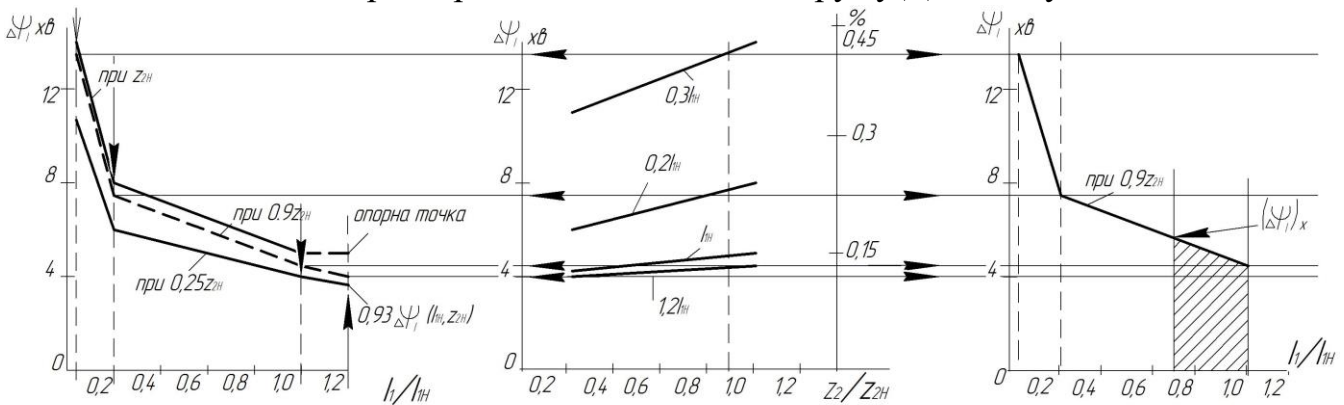


Рис. 8. Характеристика точності за кутом втрат ДСС типу ТФЗМ-110

З отриманих характеристик (рис. 7,8) можна зробити висновок, що точність характеристик ДСС залежить окрім навантаження, від загального опору вторинної обвитки, який можна змінювати введенням поправок в процесі експлуатації, що дозволяє підвищувати точність характеристик ДСС.

У четвертому розділі "Дослідження точності визначення характеристик високовольтних джерел сигналів в умовах експлуатації за допомогою розроблених моделей" запропоновані алгоритми компенсації характеристик точності ДСС та ДСН та розроблені блок-схеми для автоматичної компенсації цих характеристик у пуско-налагоджувальних роботах.

Проведений аналіз розроблених моделей для визначення характеристик високовольтних ДСС, показав, що на точність характеристик найбільший вплив мають систематичні складові характеристик ДСС, та показано, що існує можливість скомпенсувати їх шляхом введення поправок за паспортними даними ДСС визначенням потужності, що споживається. Вимірювання потужності можна суттєво знизити, врахувавши додаткові дані про вказані похибки. ДСС і ДСН в паспортах, окрім класу точності, додатково характеризуються результатами вимірювань похибки ДСС і ДСН, що підтверджує клас точності. Особливістю цих вимірювань є те, що вони отримані на високоточній метрологічній установці (точність повірочної метрологічної установки заводу-виробника – 0,05) за відпрацьованою і стандартизованою методикою. Це дозволить підвищити точність характеристик ДСС. Перевага запропонованого підходу полягає у покращенні характеристик існуючих високовольтних ДСС, без втручання в їх конструкцію і технологію виготовлення.

Аналізом встановлено, що моделі визначення характеристик точності високовольтних ДСС за класами їх точності дають лише межі, в яких можуть знаходитися ці похибки. Додаткове використання результатів прийнятно-здавальних випробувань кожного із ДСС, що відображені в їх паспорті, дозволяє ці межі значно звужити.

Відомі паспортні значення характеристик точності по струму ДСС δI ($0,05I_{1н}, z_{2н}$), δI ($0,2I_{1н}, z_{2н}$), δI ($I_{1н}, z_{2н}$) можуть використовуватися для побудови кривої оцінки характеристики точності по струму δI ($I_{1н}, z_{2н}$) де $0,05I_{1н} \leq I_1 \leq I_{1н}$ для низки ДСС, що випускаються заводом виробником. Побудова цієї залежності здійснюється за допомогою лінійної інтерполяції паспортних значень. Побудовані таким методом графіки відображають зміну значення характеристики точності по струму при $0,05I_{1н} \leq I_1 \leq I_{1н}$ для ряду ДСС.

Проведений аналіз підтверджує можливість підвищення точності представлення інформації у оперативно-інформаційному комплексі ОДУ України, шляхом застосування запропонованих моделей характеристик похибок ДСС, що дає змогу підвищити точність та надійність вимірювальних схем. Підвищення точності досягається без заміни ДСС, що експлуатуються в даний час, шляхом більш повного врахування їх характеристик.

Використовуючи паспортні дані характеристик точності по струму δI ДСС (на базі ТФЗМ-110) була проведена її оцінка при опорі навантаження Z_2 меншому ніж $Z_{2н}$ провівши лінійну інтерполяцію паспортних значень характеристики точності по струму δI . За виразом:

$$\delta I(I_1, z_2) = \delta I(I_1, z_{2н}) + (z_2 - z_{2н}) \delta I'_{z_2}(I_1, z_{2н}), \quad (15)$$

залежність характеристики точності по струму від навантаження (табл. 2) показала, що значення похибки δI ($I_{2н}, Z_{2н}$) обмежена значенням $\pm 0,05\%$. Це відповідає допустимій похибці ($\pm 0,05\%$) повірочної вимірювальної установки виробника при $Z_2 \leq Z_{2н} \leq 0,9 \text{ Ом}$.

Для збільшення меж запропоновано використовувати інтерполяцію виду:

$$\delta I(I_1, z_2) = \delta I(I_1, 0,75z_{2H}) + (z_2 - 0,75z_{2H}) \delta I'_{z_2}(I_1, 0,75z_{2H}), \quad (16)$$

що дозволяє зменшити значення струмової похибки $\delta I(I_1, Z_2) = 0,157\%$.

Із формули (16) зроблено висновок, що підвищення точності вимірювання потужності лімітується класом точності ДСС і ДСН, що дозволяє оцінити граничні похибки вимірювання потужності та здійснити процедуру компенсації кутової складової характеристики точності ДСН та ДСС.

Поправку щодо значення характеристики точності за кутом втрат ДСС та ДСН корекцію вимірної потужності \hat{P}_1 запропоновано здійснити за формулою:

$$\tilde{P} = \frac{\hat{P}_1}{1 + 10^{-3} \cdot 0,291(\Delta\psi_{I1} - \Delta\psi_{U1}) \operatorname{tg}\psi_1}. \quad (17)$$

де
$$\Delta\hat{\psi}_I(I_1, z_2) = c \left(\frac{I_{1H}}{I_1} \right)^{0,4} [z(z_2)]^{0,6} \cos[\psi_y + \alpha(z_2)] \quad (18)$$

Таблиця 2

Залежність характеристики точності по струму від навантаження

Первинний струм у % від I_{1H}	z_2 , Ом	$\frac{z_2}{z_{2H}}$	$\delta I(I_1, z_2)$, %
5	1,2	1	-0,54
	0,9	0,75	-0,475
	0,6	0,5	-0,410
	0,3	0,25	-0,340
20	1,2	1	-0,47
	0,9	0,75	-0,469
	0,6	0,5	-0,348
	0,3	0,25	-0,287
100	1,2	1	-0,33
	0,9	0,75	-0,291
	0,6	0,5	-0,251
	0,3	0,3	-0,212

Розрахунки за розробленими моделями (17), (18) поправок показали, що остаточна похибка при вимірюванні потужності, що вноситься ДСС, складає 0,14%.

Підвищення точності характеристик ДС досягається за рахунок використання процедур поправок при компенсації систематичних складових цих характеристик. Аналізом встановлено, що покази ДС спотворені в основному мультиплікативною похибкою, яка має систематичний характер, тобто її можна скомпенсувати автоматично за допомогою поправок. В процедурі компенсації доцільно використовувати розрахункову поправку, як детерміновану функцію від емпіричної поправки, визначеною на повірочній установці. В цьому випадку зв'язок між вихідною $X_{вих}$ та вхідною $X_{вх}$ величинами отримає вид:

$$\tilde{X}_{вих} = K_H \cdot (1 + \alpha) \cdot X_{вх}, \quad (19)$$

де K_H – номінальний коефіцієнт перетворення; $\hat{X}_{\text{вix}}$ – результат вимірювання спотворений мультиплікативною похибкою; α – постійне значення, яке є оцінкою спотворення коефіцієнта перетворення ($\alpha \ll 1$).

При аналізі варіантів побудови ітераційної процедури встановлено, що доцільно використовувати для компенсації поправку до першого вимірюваного значення:

$$\hat{X}_{\text{вix}n} = \hat{X}_{\text{вix}(n-1)} + \alpha \cdot \hat{X}_{\text{вix}(n-1)}, \quad (20)$$

де співвідношення для $\hat{X}_{\text{вix}n}$ формує вираз для відносної похибки n -го кроку виду:

$$\delta_n = \alpha^{n+1} \quad (21)$$

Ефективність застосування запропонованого алгоритму (20) визначається границею, до якої прямує величина δ_n при збільшенні кількості ітерацій, тобто:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \delta_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \alpha^{n+1} = 0 \quad (22)$$

Доведено ефективність застосування цього алгоритму при компенсації похибок адитивного та адитивно-мультиплікативного характеру, при компенсації мультиплікативних похибок ДС комплексних величин, а також компенсації систематичних похибок при вимірюванні потужності.

Показано, що запропонований алгоритм компенсації доцільно застосовувати під час пуско-налагоджувальних робіт у колах з ДСН та ДСС за місцем їх експлуатації. Для цього запропоновано використовувати розрахункові поправки, що дасть змогу істотно зменшити значення похибок результатів вимірювання за рахунок збіжності ітераційної процедури компенсації, побудованої відповідно до запропонованого алгоритму.

ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язано актуальну наукову задачу удосконалення математичних моделей режимів функціонування високовольтних вимірювальних джерел сигналів для підвищення точності їх характеристик в процесі експлуатації.

При цьому отримано такі результати:

1. На основі проведеного аналізу моделей оцінки втрат електроенергії при її передачі, розподілу та обліку встановлено, що обмежуючим фактором є характеристики високовольтних джерел сигналів. У більшості ДС їх характеристики спотворені в основному мультиплікативною складовою похибки, яку необхідно скомпенсувати в діапазоні величини вимірювання введенням поправок без виведення ДС з експлуатації.

2. Обґрунтовано на базовій моделі, що систематична складова похибки ДСН лінійно залежить від значення вторинного навантаження. Встановлено можливість і розроблено моделі оцінки характеристик точності ДСН за напругою та кутом втрат за паспортними даними похибок ДСН.

3. Підтверджено, що використовуючи удосконалені моделі залишкова похибка ДСН після корекції характеристик не перевищує $\pm 0,05\%$. Визначено режими роботи ДСН з максимальною точністю характеристик при відхиленні від номінальної напруги експлуатації.

4. Удосконалено модель підвищення точності характеристик ДСС, яка, на відміну від відомих враховує параметри навантаження, загальний опір вторинної обвитки, що дозволяє введенням поправок в процесі експлуатації підвищити точність характеристик ДСС.

5. Розроблено методику визначення характеристик ДСС, що працюють під навантаженням, яка дозволяє експериментально, на базі розробленої моделі, визначити точність струмової характеристики та точність характеристики за кутом втрат ДСС.

6. Встановлено, що корекцію характеристик високовольтних джерел сигналів можна здійснити автоматично за допомогою ЕОМ в процесі поточної експлуатації. Проведено обґрунтування вибору оптимального алгоритму автоматичної корекції характеристик високовольтних джерел сигналів, будувати ітераційну процедуру корекції використовуючи скоректовані значення вимірюваної величини недоцільно, ітераційну процедуру необхідно будувати застосовуючи поправки до першого значення вимірюваної величини.

7. Для корекції характеристик високовольтних джерел сигналів і відповідно підвищення точності представлення інформації в оперативно-інформаційному комплексі ОДУ України розроблені відповідні алгоритми, за якими можлива розробка програмного забезпечення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Євтух П. Моделі похибок високовольтних вимірювальних трансформаторів напруги / П. Євтух, Н. Куземко, С. Бабюк. – Тернопіль : Вісник ТДТУ. – 2009. – Т. 14. №2. – С. 85-92.
2. Євтух П. Структура алгоритмів автоматичної компенсації систематичних похибок масштабуючих вимірювальних перетворювачів / П. Євтух, Н. Куземко, С. Бабюк. – Тернопіль : Вісник ТДТУ. – 2010. – Т. 15. №1. – С. 163-170.
3. Євтух П. Оцінки похибок джерел сигналів електроенергетичних систем за навантаженням / П. Євтух, С. Бабюк. – Метрологія та прилади. – 2012. – № 1 (33). – С. 49-53.
4. Мандзій В. Автоматизований комплекс визначення показників якості електроенергії / В. Мандзій, С. Бабюк, В. Липницький, І. Сисак – Метрологія та прилади. – 2011. – №1. – С. 34-38.
5. Євтух П. Оцінка граничної точності високовольтних джерел струмових сигналів на базі моделі побудованої за їх паспортними даними / П. Євтух, С. Бабюк. – Тернопіль : Вісник ТНТУ. – 2012. – № 2 (66). – С. 214-223.
6. Оптимізація по точності автоматичної компенсації систематичних похибок вимірювальних трансформаторів : матеріали Міжн. науково-техн. конф. [“Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій ”], (Тернопіль, 19–21 трав. 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. тех. ун-т ім. І. Пулюя. – Т. – Тернопільський нац. ун-т ім. І. Пулюя, 2010. – 343 с.

7. Алгоритм автоматичної компенсації систематичних похибок масштабуючих вимірювальних перетворювачів : матеріали Міжн. науково-техн. конф. [“Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах”], (Луцьк – Шацькі озера, 28–30 черв. 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Луцький нац. ун-т [та ін.]. – Л. – Луцький нац. ун-т, 2010. – 82 с.
8. Алгоритм автоматичної компенсації мультиплікативної похибки масштабуючи вимірювальних перетворювачів : матеріали X Міжн. науково-техн. конф. [“Контроль і управління в складних системах (КУСС-2010)”], (Вінниця, 19-21 жовт. 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Вінницький нац. Техн. ун-т [та ін.]. – Л. – Вінницький нац. Техн. ун-т, 2010. – 336 с.
9. Автоматична компенсація систематичних похибок вимірювальних трансформаторів струму : матеріали Міжн. науково-техн. конф. [“Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика”], (Кременчук, 18–20 трав. 2011 р.) / Кременчуцький нац. ун-т ім. М. Остроградського, ін-т електромеханіки, енергозбереження і систем управління. – К. : Кременчуцький нац. ун-т ім. М. Остроградського, 2011. – 46 с.
10. Автоматична компенсація систематичних похибок вимірювальних трансформаторів при вимірюванні потужності у високовольтних мережах : матеріали Міжн. науково-техн. конф. [„Сучасний стан та перспективи розвитку світлотехніки та електроенергетики“], (Тернопіль, 19 трав. 2011 р.) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Тернопільський нац. ун-т ім. І. Пулюя. – Т. – Тернопільський нац. ун-т ім. І. Пулюя, 2011. – 51 с.
11. Оцінки вихідних параметрів високовольтних джерел сигналів напруги : матеріали IV Міжн. науково-техн. конф. [“Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи”] (Тернопіль, 24-26 квіт. 2012 р. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Тернопільський нац. ун-т ім. І. Пулюя. – Т. – Тернопільський нац. ун-т ім. І. Пулюя, 2012. – 130 с.
12. Модель оцінки остаточної похибки високовольтних джерел сигналів напруги на базі моделі побудованої за їх паспортними даними : матеріали IV Міжн. науково-техн. конф. [“Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах”], (Луцьк – Шацькі озера, 14–16 черв. 2012 р.) / М-во освіти і науки, молоді та спорту, Луцький нац. ун-т [та ін.]. – Л. – Луцький нац. ун-т, 2012. – 223 с.

АНОТАЦІЯ

Бабюк С.М. Удосконалення математичних моделей оцінок параметрів налаштування джерел сигналів електроенергетичних систем за навантаженням. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2012.

У дисертаційній роботі розв'язано важливе наукове завдання – удосконалено математичну модель та методи фізичного моделювання електромагнітних процесів у високовольтних джерел сигналів напруги та струму, розроблено нові методи оцінювання та коригування точності характеристик високовольтних джерел сигналів.

Дисертацію присвячено удосконаленні існуючих а також розробці нових математичних моделей і методів для визначення та корекції точності характеристик високовольтних джерел сигналів. Доведено, що ці характеристики які можуть бути визначені безпосередньо під час експлуатації джерел сигналів, що у високовольтних мережах пов'язано з суттєвими труднощами. Вперше запропоновано для визначення точності характеристик високовольтних джерел сигналів напруги використовувати їх паспортні дані, та визначати характеристики без додаткових вимірювальних експериментів.

Доведено, що після корекції характеристик точності високовольтних джерел сигналів, похибка представленої інформації знизиться приблизно в 5 раз також, визначена межа зниження похибки, яка досягається після компенсації систематичної складової похибки. Ця величина обмежується можливостями метрологічного забезпечення на заводі виробнику

Розроблено метод (алгоритм) для автоматичної корекції систематичних похибок джерел сигналів струмів та напруг, які працюють під навантаженням.

Ключові слова: джерела сигналів струму, джерела сигналів напруги, систематична похибка, модель, автоматична корекція, алгоритм, високовольтні електричні мережі, похибка.

АННОТАЦИЯ

Бабюк С.Н. Усовершенствование математических моделей оценок параметров настройки источников сигналов электроэнергетических систем по нагрузке. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные методы - Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2012.

В диссертационной работе развязана важная научно-техническая задача – усовершенствована математическая модель и методы физического моделирования электромагнитных процессов у высоковольтных источников сигналов напряжения и тока, разработаны новые методы оценивания и корректировки точности характеристик высоковольтных источников сигналов.

Диссертация посвящена усовершенствованию существующих, а также разработке новых математических моделей и методов для определения и коррекции точности характеристик высоковольтных источников сигналов. Доказано, что эти характеристики могут быть определены непосредственно во время эксплуатации источников сигналов, что в высоковольтных сетях связано с существенными трудностями. Впервые предложено для определения точности характеристик высоковольтных источников сигналов напряжения использовать их паспортные данные, и определять характеристики без дополнительных измерительных экспериментов.

Доказано, что после коррекции характеристик точности высоковольтных источников сигналов, погрешность представленной информации снизится приблизительно в 5 раз, также определен предел снижения погрешности, которая достигается после компенсации систематической составной погрешности. Эта величина ограничивается возможностями метрологического обеспечения на заводе изготовителе.

Разработан метод (алгоритм) для автоматической коррекции систематических погрешностей источников сигналов токов и напряжений, которые работают под нагрузкой.

Ключевые слова: источники сигналов тока, источника сигналов напряжения, систематическая погрешность, модель, автоматическая коррекция, алгоритм, высоковольтные электрические сети, погрешность.

ANNOTATION

Babiuk S.M. Improvement of the mathematical models ratings settings signal sources of electrical power systems for load. - Manuscript.

Dissertation is submitted for the scientific degree of Candidate of Sciences (Engineering) in specialism 01.05.02 - mathematic modeling and calculating methods – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2012.

Scientific task of great importance – improvement of the mathematic model and methods of physical modeling of electro-magnetic processes in the high-voltage sources of voltage and current signals has been solved. New methods of estimation and correction of accuracy of high-voltage signals sources characteristics have been developed.

Application of the proposed solutions makes possible to take measures for reducing of the electrical energy losses, increasing of the electrical energy quality factors and more precise balancing of the relay protection schemes and automation in the electric supply systems.

Main results obtained in the work:

Mathematic model for determination of the operation errors of the voltage signals using their standard operating procedures has been developed, which can be used while balancing the relay protection schemes and makes possible to increase power measuring systems accuracy and electrical power measuring systems accuracy and electrical power measuring in the high voltage circuits without additional measuring experiments by calculating, that is, without stopping of the

voltage current sources (VCS) operation, which in the high-voltage nets results in great difficulties.

At the presented models investigations of high-voltage VCS characteristics testify, the effect on the characteristic accuracy according to the losses angle is sufficient less, than those of the voltage. That is why the increase of the measurement accuracy is worthy being according to the increase of accuracy characteristic according the voltage, which improves the result of measuring.

Possibility to increase the accuracy of the presented information by decreasing the error of the measurement systems, which contain high-voltage current and voltage signals sources, has been proved. Increased accuracy is obtained without signal sources replacement being operated in the moment, taking into account their characteristics more completely.

Dissertation, which proves that after compensation of the systematic error components of high-voltage current sources, the error of the presented information will go down approximately in 5 times . The limit of the error decrease that is achieved after compensation of the systematic error component was found too. This value is limited by the possibilities of the metrology at the plant producer and equals about 0,05%.

The model has been developed and the scheme for measuring current signals sources characteristics from the low-voltage side was presented, which can be applied in the production for determination of the error which is equal to real under real load.

It was found, that the correction of the high-voltage signal sources was carried out. To build iteration correction procedure using obtained meanings of the measured values is not reasonable. Iteration procedure must be built furnishing a correction to the first meaning of the measured value.

The limit of the error decrease for signal sources and voltage current sources and which is obtained after the characteristics correction, was found. This value is limited by the possibilities of the metrological maintenance at the plant-producer and equals about 0,05%.

To correct the characteristics of the high-voltage signal sources and to increase the accuracy of the presented data, certain algorithms, according to which the development of the software if possible, have been developed.

Key words: current signal sources, voltage signals sources, systematic error, model, automatic correction, algorithm, high-voltage electric nets, error.

Підписано до друку 22.10.2012 р.
Папір ксероксний Times New Roman
Обл.вид.арк. 0,9
Наклад 100 прим. Зам. № 1985
Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001