

10. Островский, А. В. Безитерационная методика определения параметров схемы замещения асинхронного электродвигателя [Текст] / А. В. Островский // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. — 2012. — Вип. 12, Т. 2. — С. 66–72.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

В даній статті на базі дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні з короткозамкненим ротором в залежності від завантаження на валу і температури навколишнього середовища та теплового зношення його ізоляції розроблена методика єдиної оцінки процесів втрат електричної енергії і ресурсу ізоляційної конструкції в електродвигуні в одиницях енергії.

Ключові слова: електродвигун, втрати, питомі, завантаження, температура, оптимум, енергозбереження, ковзання, діаграма, ресурс.

Овчаров Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина.

Стребков Александр Андреевич, аспирант, кафедра теоретической и общей электротехники, Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, Украина, e-mail: sashko@yandex.ru.

Овчаров Сергей Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра теоретичної та загальної електротехніки, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна.

Стребков Александр Андрійович, аспирант, кафедра теоретичної та загальної електротехніки, Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, Україна.

Ovcharov Sergey, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine.

Strebkov Alexandr, Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine, e-mail: sashko@yandex.ru

УДК 621.311.42

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44331

Бунько В. Я.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

В роботі проведено аналіз методики вибору кількості комплектів релейного захисту і автоматики (РЗА) та схем резервування для розглянутого об'єкту, який захищається. Приведено методику розрахунку показників надійності систем РЗА для трьох типів захищаних об'єктів, що дозволило обґрунтувати схеми резервування систем РЗА та забезпечило необхідний рівень надійності об'єктів системи електропостачання.

Ключові слова: релейний захист і автоматика, мікропроцесорні термінали, силовий трансформатор, лінії електропередач.

1. Вступ

У процесі експлуатації електричної системи можливі різні порушення нормального режиму — спади напруги, перевантаження, короткі замикання, які можуть призвести до пошкодження і навіть руйнування електричної апаратури та струмопроводів. Безпосередніми причинами аварій можуть бути пошкодження ізоляції або помилкові дії обслуговуючого персоналу у разі оперативних перемикань (наприклад, вимикання роз'єднувачем значних струмів навантаження, вмикання лінії під напругу за залишеного після ремонту заземлення та ін.).

Щоб зменшити збитки, спричинені короткими замиканнями, пошкоджений елемент слід вимкнути за можливості скоріше. Тому захист електроустановок від аварій або порушень нормального режиму здійснює спеціальний автоматичний пристрій — релейний захист.

Релейний захист (РЗ) — частина електричної автоматики, яка призначена для виявлення і автоматичного вимкнення пошкодженого електроустаткування.

Звичайно в електричній частині енергосистеми терміни «пошкодження» і «коротке замикання» є синонімами, хоча, це не зовсім так. Коротке замикання завжди

є пошкодженням, а пошкодження не завжди є коротким замиканням. Наприклад, обрив фази — це пошкодження, але не коротке замикання.

Як виключення до пристроїв РЗ відносяться деякі пристрої, призначені не для виявлення і вимикання пошкодженого електроустаткування, а для виявлення ненормальних режимів роботи електроустаткування (наприклад, захист від перевантаження трансформатора).

Крім того, у деяких випадках, що не вимагають швидкого автоматичного відключення пошкодженого устаткування, пристрої РЗ можуть діяти не на вимикання, а на сигнал (наприклад, захист від замикань на землю в мережах з ізольованою нейтраллю).

Підвищення надійності системи РЗА є ефективним заходом запобігання аварійних наслідків, які викликані відмовами в її функціонуванні.

Більшість фірм виробників устаткування РЗА припиняють випуск електромеханічних реле і пристроїв і переходять на цифрову елементну базу. Перехід на нову елементну базу не приводить до зміни принципів релейного захисту і електроавтоматики, а тільки розширює її функціональні можливості, спрощує експлуатацію і знижує її вартість [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питанню ефективності та надійності релейного захисту і автоматики (РЗА) електроенергетичних систем традиційно приділяється багато уваги.

Розвиток в нашій країні релейного захисту і автоматики (РЗА) електроенергетичних систем і зміна апаратної бази від електромеханічних реле до мікросхем і мікропроцесорів, з одного боку, привело до значного підвищення її технічної досконалості, а з іншого боку — до значного зниження надійності [2]. Велику увагу фахівці приділяють аспектам надійності спрацьовування захистів. Основна частина неправильних дій систем РЗА — це помилкові й зайві спрацьовування, як показують статистичні дані, накопичені протягом ряду років. Саме ці види неправильних дій захисту супроводжуються найбільшими збитками від ненадійності.

Зараз перед фахівцями енергосистеми нашої країни стоїть одне з головних завдань — це переозброєння техніки релейного захисту і автоматики для існуючих об'єктів енергетики, а також тих, що вводяться в експлуатацію знову. Недостатнє вивчення даних про роботу різних типів захистів не дозволяє вирішити пряме завдання надійності, тобто по показниках надійності окремих елементів релейного захисту визначити показники надійності всієї системи РЗА в цілому [1–4]. Вибір показників і критеріїв ефективності та надійності, а також методів вибору оптимального по ефективності варіанту релейного захисту об'єкту, відіграють вирішальну роль у виборі основних напрямків розвитку техніки РЗА, методах підвищення надійності і т. д.

3. Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єктом дослідження являється релейний захист енергетичних об'єктів системи електропостачання напругою 110 кВ і вище.

Мета дослідження — аналіз принципів і методів вибору схем резервування систем РЗА на підставі теорії надійності для устаткування електричних підстанцій і мереж напругою 110–220 кВ та вище, що дозволяє підвищити надійність систем РЗА.

Досягнення поставленої мети пов'язане з вирішенням наступних завдань:

1. Аналіз факторів, що впливають на надійність систем РЗА, виявлення їхніх переваг і недоліків.
2. Удосконалення методів розрахунку надійності з врахуванням впливу людини на процес функціонування систем РЗА.
3. Удосконалення методики розрахунку показників надійності систем РЗА.
4. Визначення кількості та розробка схем резервування систем РЗА за інформацією про неправильні дії конкретних типів захистів.

4. Матеріали та методи досліджень засобів підвищення надійності елементів релейного захисту

В даному випадку предметом дослідження являється надійність та функціонування систем РЗА, схеми ре-

зервування комплектів релейного захисту стосовно до захисту об'єктів (ліній електропередач, силових трансформаторів, збірних шин).

При вирішенні даного питання використовують: методи дослідження інформації (теорія надійності, теорії ймовірностей і математичної статистики), методи дослідження процесів (теорія масового обслуговування), обчислювальні експерименти (теорії імітаційного моделювання і комп'ютерні технології) [3].

Потік профілактичного контролю розглядається як регулярний з незмінним періодом контролю.

При вводі апаратної надмірності (резервування) варто враховувати наступне: розрахункова схема при використанні двох взаєморезервуючих пристроїв, панелей релейного захисту буде виглядати так, як це показано на рис. 1.

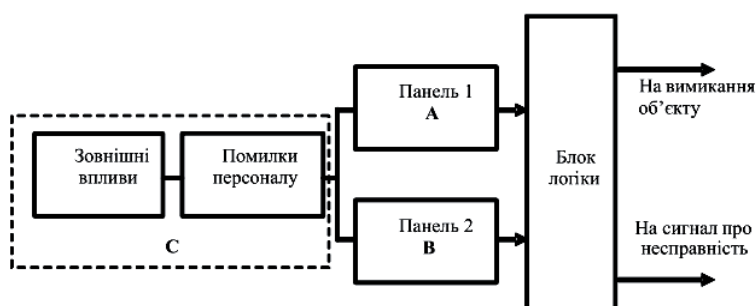


Рис. 1. Розрахункова схема для резервованих електричних кіл: А і В — взаєморезервуючі блоки; С — «загальне коло»

Загальне коло з'являється внаслідок наступних причин: — загального впливу перешкод на обидва комплекти; — для мікропроцесорних терміналів — через неідеальну надійність програмного забезпечення обох комплектів РЗА; — через неідеальну «надійність персоналу» і т. д.

5. Результати досліджень методів та засобів підвищення надійності елементів релейного захисту

У зв'язку з викладеним, коефіцієнт неготовності системи із двох взаєморезервуючих комплектів q_{Σ} визначиться наступним чином:

$$q_{\Sigma} = \frac{q_i^2}{k}, \quad (1)$$

де q_i — коефіцієнт неготовності кожного із взаєморезервуючих блоків; k — коефіцієнт обліку взаємозалежності функціонування каналів і регулярності контролів станів; для релейного захисту ЛЕП приймається при наявності елемента неузгодженості 0,5; а при відсутності цього елемента 0,2; для релейного захисту трансформатора приймається 0,8 [3–11].

Проведені дослідження показують, що часті відновлення приводять до необхідності розрахунку показників надійності пристроїв РЗ в «перехідному» режимі експлуатації.

На рис. 2 наведені функції неготовності $q_1(t)$ і $q_2(t)$ для двох пристроїв релейного захисту, причому $\omega_1 = 7$ [1/рік], $\mu_1 = 20$ [1/рік], $\omega_2 = 2$ [1/рік], $\mu_2 = 3$ [1/рік].

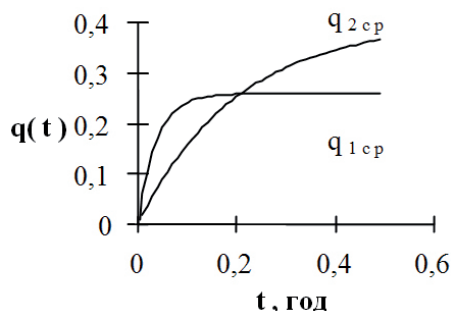


Рис. 2. Функції неготовності пристроїв 1 і 2

За сталим значенням $q_1 = 0,259$ і $q_2 = 0,4$ можна зробити висновок про те, що перший пристрій РЗ надійніший за другий. Якщо ж раз на місяць проводиться перевірка справності (і, якщо потрібно, то ремонт), то розрахунки дають наступні результати: $q_{1\text{порівн}} = 0,232$, $q_{2\text{порівн}} = 0,136$. Звідси виходить, що другий пристрій РЗ надійніший першого [2–6].

З наведеного прикладу зрозуміло, що оцінку надійності релейного захисту варто вести не за сталим значенням коефіцієнтів неготовності, а за середнім значенням функції неготовності за період між регулярними перевірками.

Дослідження показують, що нестаціонарність потоку КЗ впливає на показники надійності пристроїв релейного захисту (ПРЗ). Як метод дослідження обрано імітаційне моделювання (ІМ) на ЕОМ. Були розроблені алгоритм та програма ІМ, за допомогою яких проводились дослідження впливу ймовірнісних характеристик потоку КЗ (рис. 3) на показники надійності.

На рис. 4 представлені побудовані таким чином функції неготовності $q_1(t)$ – при стаціонарному потоці КЗ і $q_2(t)$ – при нестаціонарному потоці. За результатами моделювання для кожної функції неготовності були визначені середні значення $q_{1,ср}$ і $q_{2,ср}$.

Мікропроцесорні термінали доцільно вводити в дію в першу чергу на щойно споруджених підстанціях, де необхідно реалізувати всі необхідні заходи щодо забезпечення високої якості контуру заземлення, підвищення перешкодозахищеності по всіх аспектах (перешкоди по

колах живлення оперативним струмом, колах змінного струму і напруги захисту). Необхідно також категорично заборонити використання поблизу від таких терміналів джерел електромагнітного випромінювання (стільникових телефонів, електродрилів з колектором, які іскрять та ін.) [1–5].

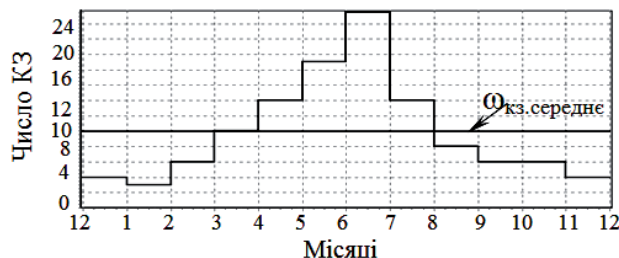


Рис. 3. Розподіл числа КЗ по місяцях року в мережі 220 кВ

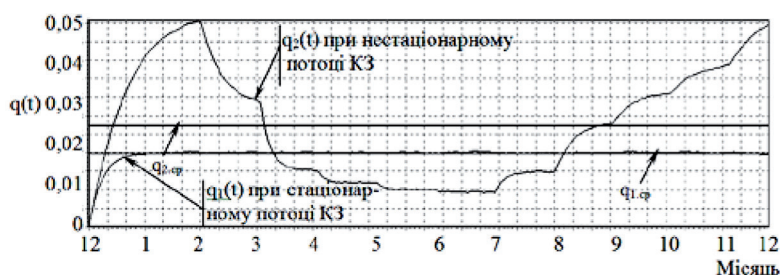


Рис. 4. Вплив нестаціонарності потоку КЗ на неготовність захисту

При розробці методики порівняння варіантів побудови систем захисту на мікропроцесорних терміналах під час проектування, необхідно врахувати наступне:

- в процесі проектування не ставиться завдання оптимізації внутрішньої структури шафи, панелі, а тому необхідно оптимізувати кількість і алгоритм взаємодії цих елементів;
 - розрахунки не повинні бути занадто трудомісткими, необхідно максимально спростити методику, не допускаючи при цьому більших неточностей в результатах;
 - показники надійності та ефективності повинні враховувати особливості захищаючого об'єкта [3–7].
- Схеми резервування систем РЗА наведені на рис. 5.

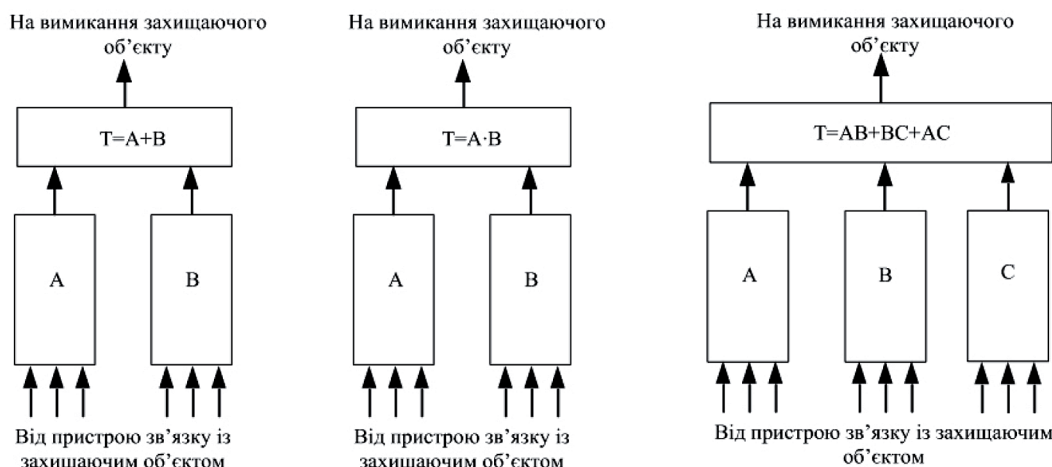


Рис. 5. Резервування комплектів захистів РЗА

Алгоритм розрахунку показників надійності захисту ЛЕП наступний.

Спочатку необхідно визначити, які типи захистів будуть встановлені на захищачому об'єкті, в даному випадку ЛЕП. Припустимо, що на лінії буде встановлена в якості основного диференційно-фазний високочастотний захист, у якості резервного — струмовий захист нульової послідовності (СЗНП) і дистанційний захист.

Наступним кроком являється визначення послідовно для кожного із захистів (основного і резервного) наступних величин:

- коефіцієнти частоти відмов у функціонуванні;
- розрахунковий відсоток неправильних дій захисту;
- сумарний відсоток неправильних дій захисту;
- параметр потоку КЗ для об'єкта, який захищається;
- сумарний параметр потоку відмов захисту у функціонуванні;
- параметр потоку відмов у спрацьовуванні;
- параметр потоку зайвих спрацьовувань;
- параметр потоку помилкових спрацьовувань;
- коефіцієнт неготовності до спрацьовування при ушкодженні об'єкта, який захищається;
- параметр потоку зовнішніх КЗ;
- коефіцієнт неготовності захисту при зовнішніх КЗ.

Загальні показники надійності шафи релейного захисту (основний і резервний) захист незалежно діють на відключення ЛЕП, резервування вважаємо повноцінним, при спрацьовуванні як основного, так і резервного захистів (наслідки для системи — однакові):

- загальний параметр потоку відмов захисту в спрацьовуванні;
- загальний параметр потоку зайвих спрацьовувань захисту;
- параметр потоку помилкових спрацьовувань;
- відсоток неправильних дій захисту;
- середній, що втрачається при відключенні, перетікання активної потужності по ЛЕП, яка захищається;
- середній час відновлення нормальної схеми при помилкових відключеннях $T_{\text{во.ХБ}}$ задається вихідними даними.

6. Обговорення результатів аналізу методів та засобів підвищення надійності елементів релейного захисту систем електропостачання

Знаючи «втрачені» при відповідних відмовах захисту у функціонуванні потужності і час відновлення нормального режиму, можемо розрахувати математичні очікування невідпуску електроенергії через відмови захисту у функціонуванні:

Невідпуск електроенергії при одному хибному відключенні:

$$W = P_{\text{ПЕР.СР}} T_{\text{во.ХБ}} \cdot \quad (2)$$

Математичне очікування невідпуску електроенергії через хибні відключення захистом, яким захищається ЛЕП:

$$M[W]_{\text{ХБ}} = W \cdot \Omega_{\text{ХБ.КОМПЛ}} \cdot \quad (3)$$

При помилкових відключеннях, викликаних дефектом у захисті, АПВ не може усунути його наслідки, тому що після дії АПВ захист знову спрацює хибно.

Вартість одного невідпущеного (1кВт·год) задається вихідними даними.

Математичне очікування невідпуску електроенергії через помилкові відключення захистом ЛЕП:

$$[W]_3 = W \cdot \Omega_{\text{З.КОМПЛ}} q_{\text{АПВ}}, \quad (4)$$

де $q_{\text{АПВ}}$ — ймовірність неуспішної дії АПВ, яке захищає ЛЕП у процесі її включення після помилкового спрацьовування захисту.

Визначення наслідків відмов захисту у спрацьовуванні наступні:

- середній, що втрачається при відмові захисту в спрацьовуванні, протікання активної потужності по ЛЕП, яка захищається, МВт;
- середній час відновлення нормальної схеми при відмовах захисту ЛЕП при спрацьовуванні і дії резервних захистів суміжних елементів $T_{\text{во.ОС}}$;
- математичне очікування невідпуску електроенергії при відмовах захисту ЛЕП при спрацьовуванні та дії резервних захистів суміжних елементів:

$$M[\text{HE}]_{\text{ОС}} = P_{\text{ПЕР.СР}} T_{\text{во.ОС}} \Omega_{\text{ОС.КОМПЛЕКТА}}; \quad (5)$$

- сумарний невідпуск електроенергії за рік:

$$M[W]_{\Sigma} = M[W]_{\text{ОС}} + M[W]_{\text{ХБ}} + M[W]_3; \quad (6)$$

- математичне очікування збитку від неідеальної надійності захисту:

$$M[\text{ЗН}] = M[W] y_0. \quad (7)$$

Аналогічні розрахунки можна провести також для резервних комплектів захисту.

7. Висновки

В результаті проведених досліджень основними практичними результатами являються:

1. Виділення істотних складових ефективності роботи систем РЗА дозволило обґрунтувати показники надійності систем РЗА при пошуку оптимальних рішень у РЗА.

2. Дослідження впливу людського фактору на показники надійності функціонування РЗА показало, що людський фактор здійснює такий самий по значимості вплив, як і надійність апаратної частини систем РЗА.

3. Зібрана інформація про функціонування систем РЗА дозволила зробити висновок про те, що в цей час надійність неспрацьовування систем РЗА набагато нижча надійності спрацьовування.

4. Методика розрахунку показників надійності систем РЗА для різних об'єктів, що захищаються, дозволила вибрати оптимальний по надійності варіант резервування систем РЗА на захищаючих об'єктах, і знизити збитки від неправильних дій РЗА.

Оцінка надійності релейного захисту по сталих величинах коефіцієнтів неготовності може привести до значних похибок і принципових якісних помилок. Надійність варто оцінювати за середнім значенням функції неготовності за період між регулярними перевірками. Показники ефективності та надійності релейного захисту та автоматики в більшій мірі залежать від виду і виконуваних функцій захищаючого об'єкту в енергосистемі. Тому виконання системи РЗА, яке оптимальне для одного захищаючого об'єкта, може виявитися абсолютно неефективним для іншого об'єкта такого ж виду (лінії, трансформатора, збірних шин і т. д.). Для кожного захищаючого об'єкта в процесі проектування повинні бути обрані оптимальний склад і алгоритм взаємодії елементів РЗА.

Література

1. Козирський, В. В. Електропостачання агропромислового комплексу [Текст]: підруч. / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин. — К.: Аграрна освіта, 2011. — 448 с.
2. Becker, H. Three phase shunt reactors with continuously controlled reactive current [Text] / H. Becker, D. Brandes, K. Gappa // Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques (CIGRE), 24 session. — 1972. — Report 32-13. — 256 p.
3. George, Y. Application des compensateurs statiques aux complex de laminoirs et aux reseaux de trasport TNT [Text] / Y. George // Congres Electrotechnique Mondial. — 1977. — Report 2-47. — 28 p.
4. Shalin, A. I. Efficiency of relay protection of power system [Text] / A. I. Shalin, A. S. Trofimov // 2007 International Forum on Strategic Technology. — IEEE, 2007. — P. 371-375. doi:10.1109/ifost.2007.4798607
5. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электропитания [Текст]: учеб. / В. А. Андреев. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1991. — 496 с.
6. Андреев, В. А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения [Текст]: учеб. / В. А. Андреев. — М.: Высшая школа, 1985. — 391 с.
7. Гельфанд, Я. С. Релейная защита распределительных сетей [Текст]: учеб. / Я. С. Гельфанд. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 368 с.
8. Захаров, О. Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки [Текст]: учеб. / О. Г. Захаров. — М.: Инфра-инженерия, 2014. — 128 с.
9. Чернобров, Н. В. Релейная защита [Текст]: учеб. пос. / Н. В. Чернобров. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1974. — 680 с.
10. Чернобров, Н. В. Релейная защита энергетических систем [Текст]: учеб. / Н. В. Чернобров, В. А. Семенов. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 800 с.
11. Шалин, А. И. О расчете показателей надёжности релейной защиты [Текст] / А. И. Шалин, А. С. Трофимов // Журнал НГТУ. — 2004. — С. 88-98.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В работе проведен анализ методики выбора количества комплектов релейной защиты и автоматики (РЗА) и схем резервирования для рассматриваемого объекта, который защищается. Приведена методика расчета показателей надежности систем РЗА для трех типов ограждающих объектов, что позволило обосновать схемы резервирования систем РЗА и обеспечило необходимый уровень надежности объектов системы электроснабжения.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, микропроцессорные терминалы, силовой трансформатор, линии электропередач.

Бунько Василь Ярославович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра енергетики і автоматики, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут», Україна, e-mail: VBunko@gmail.com.

Бунько Василий Ярославович, кандидат технических наук, доцент, кафедра энергетики и автоматики, Обособленное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Бережанский агротехнический институт», Украина.

Bunko Vasyil, Branch of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Berezhany Agrotechnical Institute», Ukraine, e-mail: VBunko@gmail.com