

Висновки

Аналіз виконаних досліджень дозволяє зробити такі висновки:

- запропоновано якісно новий безконтактний метод оцінювання одягу з різних матеріалів на предмет його комфортності;
- представлено пристрій, що реалізує безконтактний метод оцінки комфортності одягу в НВЧ-діапазоні, який дає можливість отримувати об'єктивну інформацію щодо комфортності одягу з високою точністю та чутливістю;
- запропонований пристрій має широку сферу застосування, оскільки може бути використаний для оцінки комфортності як повсякденного, так і спеціального одягу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Скрипник Ю.О., Супрун Н.П., Холоденко В.М. Електрофізіологічні методи оцінки комфортності одягу // Вісник КНУТД, 2005, №1. – С. 110-116.
2. Ваганов О.А., Скрипник Ю.О., Яненко О.П. Побудова кореляційного радіометра для оцінки впливу текстильних матеріалів на організм людини. Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів. Зб. «Наукові розробки молоді на сучасному етапі». – К: КНУТД, т.ІІ, 2007. – С. 20.
3. Патент України №19353, МПК G01N33/483. Пристрій для електрофізіологічних досліджень біооб'єктів / Скрипник Ю.О., Ваганов О.А., Жменько А.М. Бюл. пром. влас. – 2006. – №12.

Надійшла 29.05.2009

УДК 62-192:621.316

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МЕТОДОМ СТРУКТУРНОГО РЕЗЕРВУВАННЯ

Н.А. ЗУБРЕЦЬКА, С.С. ФЕДІН, Н.Г. САВЧЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

На основі аналізу методів оцінки та забезпечення надійності технічних об'єктів, обробки статистичної інформації щодо інтенсивності відмов елементів електричних схем запропоновано варіанти резервування системи електропостачання непромислового приміщення та обґрунтовано доцільність використання схеми загального активного резервування

Визначальною характеристикою технічних об'єктів (ТО), що характеризує їх якість та ефективність, є надійність – властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам і умовам використання, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування [1, 2]. Поняття надійності є фундаментальним поняттям, що охоплює всі сторони технічної експлуатації елементів, вузлів, блоків і систем ТО.

Відомо, що надійність – це комплексна властивість, яка залежно від призначення об'єкта і умов його експлуатації може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість окремо або певне поєднання цих властивостей як для об'єкта, так і для його частин.

За допомогою цих показників зазвичай проводиться кількісна оцінка надійності ТО залежно від їх призначення і характеру функціонування.

Проблема оцінки та забезпечення надійності особливо актуальна сьогодні в сфері електропостачання, адже розмах капітального будівництва в Україні зумовлює швидке зростання великої енергетики, з року в рік збільшується виробництво електроенергії, що призводить до необхідності розвитку розподільних електричних мереж – найважливішого елемента системи електропостачання, через які передається до 50% електричної енергії, що виробляється в країні. Для забезпечення якості електропостачання необхідно перш за все забезпечити його надійність – визначальну споживчу властивість.

Якість електроенергії регламентується ГОСТ 13109-97 «Норми якості електроенергії в системах електропостачання загального призначення» [3], за яким визначаються показники і норми якості електроенергії в електричних мережах. Для кожного реального електроенергетичного об'єкта на стадії його розробки та проектування важливо детально оцінити та спрогнозувати ступінь надійності кожного елемента електросистеми, для чого необхідно визначити перелік основних показників надійності електросистем, їх оптимальні та граничні значення, методи забезпечення. Тому велике значення при забезпеченні якості енергопостачання має не тільки професійний досвід проектування, монтажу та експлуатації об'єктів цієї сфери, а й системне застосування класичних методів оцінки та підвищення надійності, а вибір та ефективне застосування цих методів є сьогодні важливим етапом створення та функціонування електросистем.

Основним апаратом, який використовується при дослідженні показників надійності ТО, є теорія ймовірності та математична статистика. Для оцінки надійності використовують аналітичні, експертні методи, що базуються на первинному аналізі статистичних даних та статистичному контролю показників надійності [4]. Ефективним способом підвищення якості та надійності технічних об'єктів є аналіз видів та наслідків потенційних відмов (Potential Failure Mode and Effects Analysis – FMEA), який проводять на етапі проектування ТО, а також при його доробці та удосконаленні. Для аналізу відмов та розробки заходів з їх усунення часто достатньо ефективним методом є побудова дерева відмов або дерева подій. Використання цих методів дозволяє отримати вичерпну об'єктивну інформацію про властивості об'єкта, забезпечити необхідний рівень його надійності та якості на стадії проектування [5].

Для забезпечення надійності у сфері електропостачання широко застосовується набув метод резервування, що дає можливість підвищити надійність за рахунок введення надмірності – додаткових засобів і можливостей понад мінімально необхідні для виконання ТО заданих функцій. Основним завданням введення надмірності при резервуванні є забезпечення нормального функціонування ТО після виникнення відмов в елементах. Впровадження цього методу та його різновидів дасть можливість отримати запас надійності електромереж, вибрати оптимальну схему електропостачання.

Розрізняють три основні види резервування: структурне, інформаційне, тимчасове. Найбільш поширене нині структурне (апаратне) резервування, суть якого полягає в тому, що в мінімально необхідний варіант системи, елементи якої називають основними, вводяться додаткові елементи, вузли, пристрої або навіть замість однієї системи передбачається використання кількох ідентичних систем. При цьому надмірні резервні структурні елементи призначені для виконання робочих функцій при відмові відповідних основних елементів.

Проектування електропостачання з використанням цих методів необхідно, по-перше, щоб уникнути перевантажень мереж, а по-друге, грамотно виконане проектування системи електропостачання буде гарантією правильно виконаних монтажних робіт, дозволяє мінімізувати витрати і вибрати оптимальні матеріали, що відповідають нормативним документам, скоротити терміни будівництва та монтажу. При розробці проектів енергопостачання важливо оцінити всі їхні можливі варіанти з визначенням надійності резервних елементів та систем у цілому. Для такої оцінки необхідно мати точну інформацію про показники надійності, які забезпечує кожен можливий вид резервування з урахуванням вимог споживача та балансу техніко-економічних витрат.

Метою статті є забезпечення надійності системи електропостачання непромислового приміщення методом активного структурного резервування.

Постановка завдання

Під якістю електропостачання розуміють якість електроенергії, на яку впливають різні порушення живильної напруги, що у свою чергу впливає на працездатність та ефективність функціонування устаткування. Надійність електропостачання – це здатність системи забезпечувати споживачів (електроприймачів) безперебійним живленням – електроенергією при регламентованій напрузі.

Основними характеристиками споживачів електричної енергії є: розрахункове навантаження, режим роботи установки, надійність електропостачання. За розрахунковим навантаженням та режимом роботи визначаються потужності живильних трансформаторів, перетини кабельних ліній. Надійність живлення в основному залежить від вибраної схеми електропостачання, ступеня резервування окремих груп електроприймачів, а також від надійної роботи окремих елементів системи. Вимоги до надійності електропостачання споживачів викладені в основоположному нормативному документі «Правила влаштування електроустановок», згідно з яким розрізняють три категорії надійності залежно від вимог до надійності та часу усунення пошкоджень [6].

До першої категорії належать електроприймачі, порушення електропостачання яких призводить до створення небезпечної ситуації для життя людей, завдання шкоди народному господарству, пошкодження обладнання, масового браку продукції, розладу складного технологічного процесу, порушення режиму роботи особливо важливих об'єктів (доменних і мартенівських печей, деяких цехів хімічних підприємств, електрифікованих залізниць, метро).

До другої категорії належать електроприймачі, перерва в електропостачанні яких пов'язана з масовим недовипуском продукції, простоем робочих механізмів та промислового транспорту, порушеннями нормальної роботи великої кількості міських підприємств (швейних та взуттєвих фабрик) та електротранспорту.

До третьої категорії належать електроприймачі, що не входять до першої та другої категорій. Перерва в електропостачанні електроприймачів першої категорії може бути допущена лише на час автоматичного введення аварійного живлення, другої категорії – на час, необхідний для вмикання резервного живлення черговим персоналом або оперативною бригадою, і для приймачів третьої категорії – на час, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, але не більше доби. Відповідно до зазначених вимог надійності електропостачання живлення електроприймачів

першої та другої категорій здійснюється від двох незалежних джерел, а третьої – від однієї живильної лінії без обов'язкового резервування.

Для забезпечення якості електропостачання важливо мати вичерпну та об'єктивну інформацію про визначальні показники надійності, а саме: параметри потоку відмов $w(t)$, густину розподілу часу до відмови $f(t)$, вірогідність безвідмовної роботи системи за проміжок часу $P(t)$, інтенсивність відмов у момент часу $\lambda(t)$, середній час безвідмовної роботи T . За класичними методами теорії надійності устаткування електросистем підлягає обов'язковим випробуванням на надійність, що включає визначення (обчислення) конкретних значень показників надійності (апостеріорний аналіз) та їх статистичну оцінку (апостеріорний аналіз) [7, 8]. Ці оцінки отримують методами математичної статистики за наслідками спостережень обмеженого обсягу. При цьому найчастіше припускають, що результати спостережень є випадковими величинами, які відповідають певному закону розподілу з невідомими параметрами.

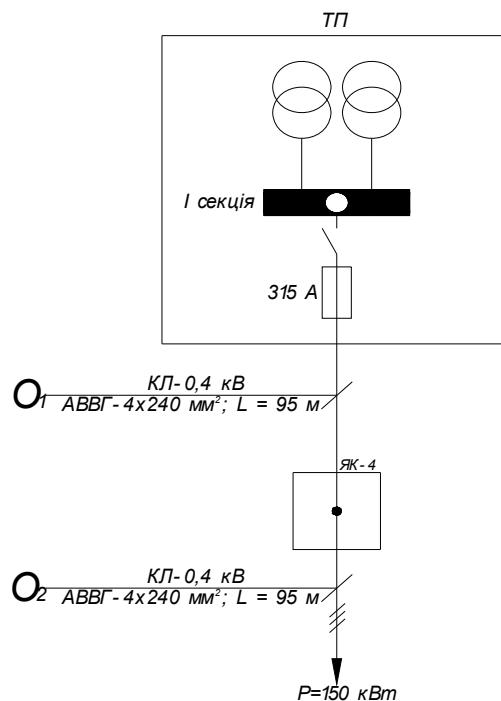


Рис. 1. Схема електропостачання без резервування

Таку послідовність аналізу надійності пропонується застосувати при оцінці показників надійності схем резервування реального проекту електропостачання непромислового (офісного) приміщення. Для визначення оптимального методу резервування розглянемо надійність проектної електросхеми (рис. 1), вважаючи, яка вона є системою, що складається з n елементів. Введемо такі припущення:

- відмови елементів незалежні (відмова одного з елементів не впливає на надійність інших);
- стан елементів системи однозначно визначає надійність усієї системи;
- після відмови елементи не відновлюються, а замінюються новими.

Показана на рис. 1 основна (проектна) схема електропостачання без резервування складається з основних елементів O_1 , O_2 ; кабельної лінії KL ; ящика клемного $ЯК$, призначеного для з'єднання KL ; трансформаторної підстанції $ТП$. У $ТП$ містяться силові трансформатори, призначені для перетворення

напруги 10 кВ на 0,4 кВ; секція шин; роз'єднувач механічного типу (перемикач); запобіжник, розрахований на струм 315 А.

При аварійній ситуації кабельна лінія розривається і при цьому згорає запобіжник, що забезпечує збереження усіх елементів ТП у справному стані. На схемі показані характеристики основних елементів O_1 , O_2 , а саме КЛ - 0,4 кВ кабельна лінія напругою 0,4 кВ, АВВГ – марка кабелю з алюмінієвою жилою (круглою, секторною) з полівінілхлоридною ізоляцією з полівінілхлоридною оболонкою, голого (відсутність джутового обплетення поверх броні), з чотирижильним перерізом 240 мм² довжиною $L = 95$ м. Максимальна потужність живильної напруги, що подається до споживача вказаною схемою, $P=150$ кВт.

Надійність схеми визначається надійністю всіх її елементів та зменшується при їх кожній відмові. Відмова — це випадкова подія, що полягає в порушенні працездатності об'єкта під впливом випадкових чинників. Пошкодження може бути істотним і бути причиною відмови і неістотним, при якому працездатність системи зберігається. Причинами відмови можуть бути помилки, допущені при конструюванні, дефекти виробництва елементів, порушення правил і норм експлуатації, монтажні та експлуатаційні пошкодження, а також природні процеси зношування і старіння.

Для оцінки надійності схеми електропостачання необхідно визначити основні показники безвідмовності:

– інтенсивність відмов $\lambda(t)$ – умовна щільність вірогідності виникнення відмови об'єкта, яка визначається за умови, що до цього моменту відмова не виникла;

– вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$ – вірогідність того, що на межах заданого напрацювання відмова об'єкту не виникне.

При послідовному з'єднанні інтенсивність відмов системи дорівнює сумі інтенсивності відмов її елементів [7]:

$$\lambda(t) = \sum_{j=1}^n \lambda_j, \quad (1)$$

а вірогідність безвідмовної роботи визначається залежністю

$$P(t) = \prod_{j=1}^n p_j, \quad (2)$$

де n – кількість елементів системи; j – номер елемента; p_j – вірогідність безвідмовної роботи кожного елемента схеми.

При паралельному з'єднанні вірогідність безвідмовної роботи буде рівна:

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^n q_j, \quad (3)$$

де q_j – вірогідність відмови, що визначається за формулою:

$$q_j = 1 - p_j. \quad (4)$$

На основі аналізу методів оцінки та забезпечення надійності схем електропостачання, їх нормативного забезпечення, досвіду застосування резервування, даних про експлуатацію та відмови електроелементів було запропоновано для реального проекту зовнішнього електропостачання

непромислового (офісного) приміщення кілька схем резервування та проведено розрахунки, що підтверджують надійність кожної схеми.

Об'єкти та методи дослідження

Розглянемо на рис. 2 запропоновану схему роздільного резервування з постійно ввімкненим резервом. Вона складається з трансформаторної підстанції ТП; основних елементів O_1, O_2 ; резервних елементів P_1, P_2 ; автоматичних вимикачів QF ; лічильників Wh марки НК 2303 АРТЗ (5-120 А); головного розподільного щита ГРЩ; ввідно-розподільного пристрою ВРП. На відміну від основної схеми (рис. 1) ТП має дві секції шин та два перемикачі QS ; два запобіжники, основні елементи виконані з кабелю АБВГ – з алюмінієвою жилою з полівінілхлоридною ізоляцією та оболонкою голого чотирижильного перерізом 120 та 50 мм², довжиною 50 та 100 м.

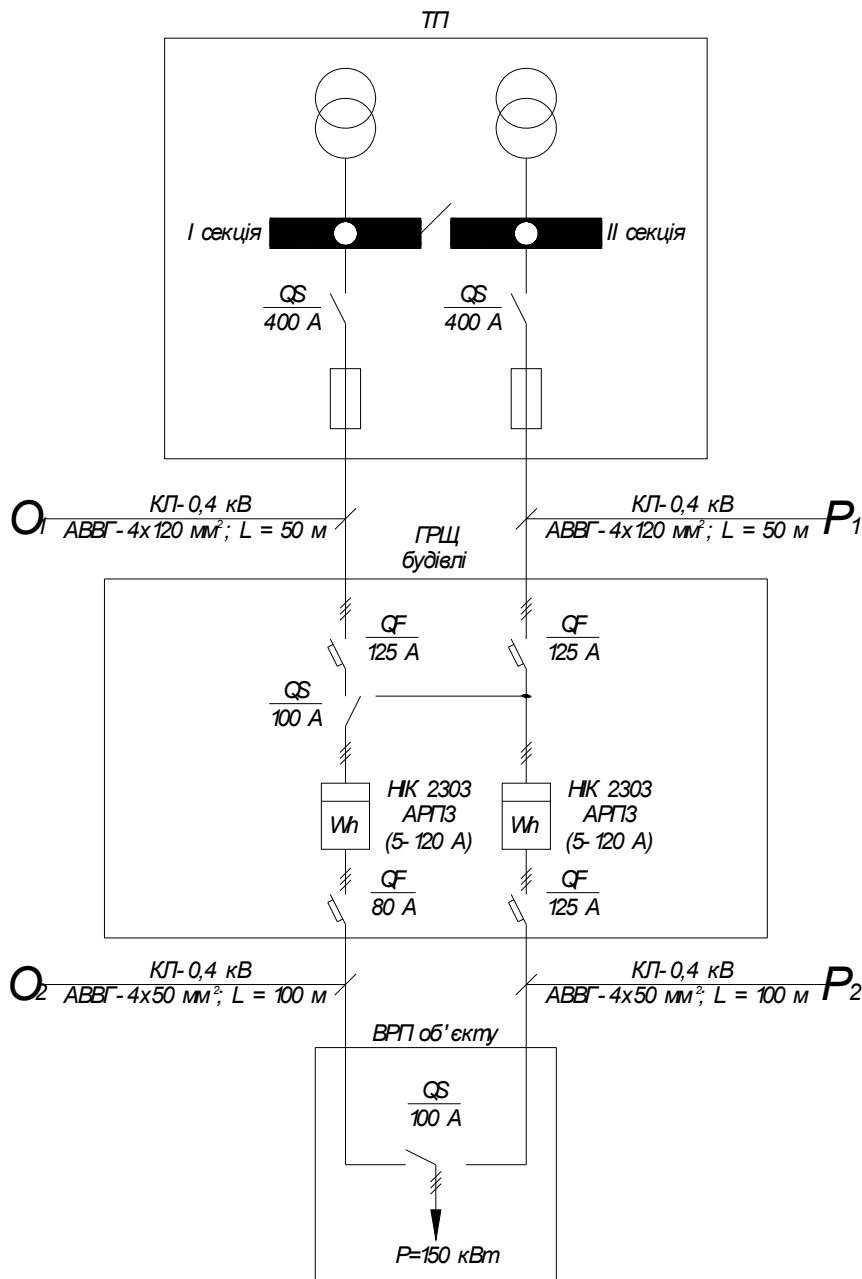


Рис. 2. Схема роздільного резервування з постійно ввімкненим резервом

У нормальному режимі експлуатації цієї схеми всі автоматичні вимикачі та роз'єднувачі основної лінії замкнені, а резервної – розімкнені і струм протікає від ТП до споживачів. При аварійному режимі:

- якщо відмовляє КЛ O_1 – QS і QF першої основної лінії розмикаються і струм протікає по резервній лінії P_1 , а далі по O_2 до споживачів;
- якщо відмовляє КЛ O_2 , QF і QS другої основної лінії – розмикаються і струм від ТП протікає по основній лінії O_1 , а далі по резервній лінії P_2 до споживачів;
- якщо відмовляють КЛ O_1 і O_2 одночасно, то струм протікає від ТП по резервній лінії P_1 і P_2 ;
- якщо відмовляють одночасно O_1 і P_1 або O_2 і P_2 , схема втрачає працездатність.

На рис. 3 та 4 показано варіанти компоновання елементів проекту електропостачання за схемою загального активного резервування та схемою загального резервування з постійно ввімкненим резервом відповідно.

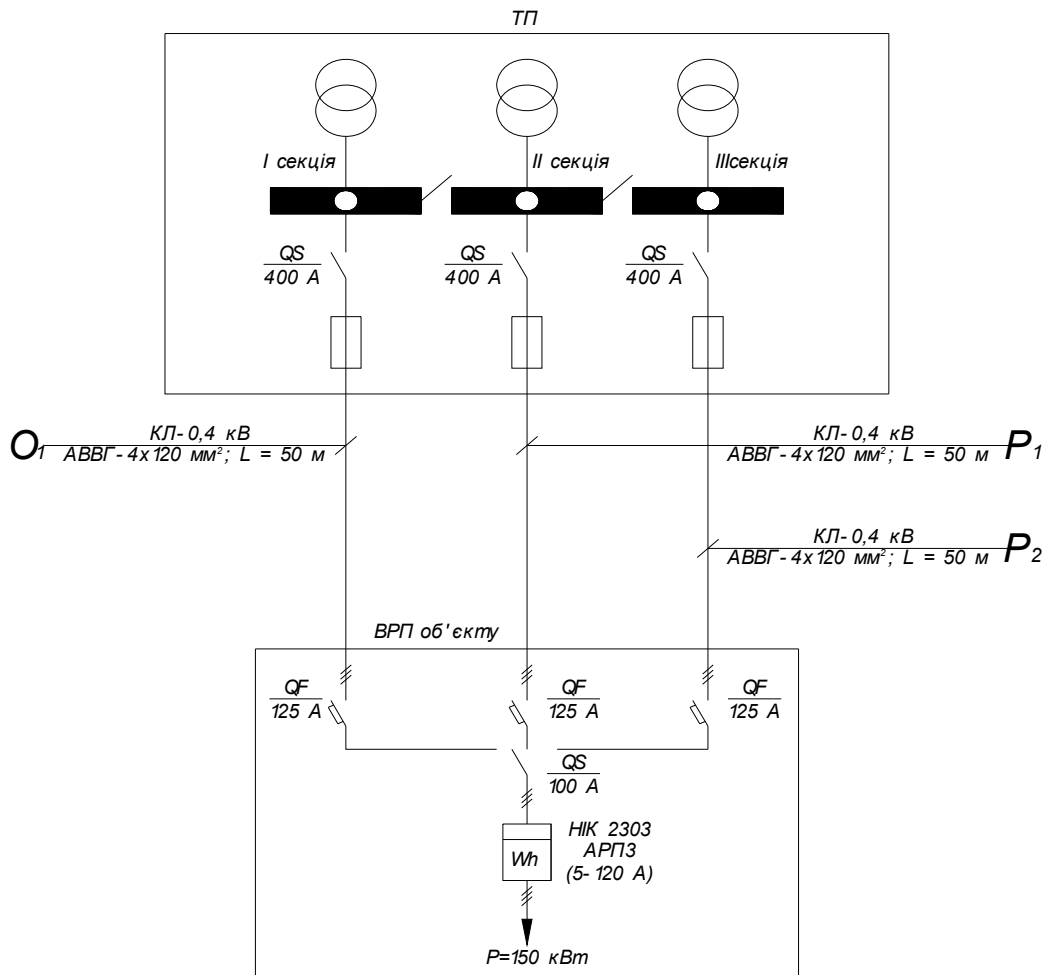


Рис. 3. Схема загального активного резервування

Схема на рис. 3 складається з паралельно з'єднаних трьох підсистем, кожна з яких складається з послідовно з'єднаних елементів: вимикача, трьох запобіжників, КЛ, перемикачів і лічильника. У нормальному режимі експлуатації схеми всі автоматичні вимикачі та перемикачі основної лінії замкнено, а резервних – розімкнено і струм протікає від ТП до споживачів.

При аварійному режимі:

- якщо відмовляє КЛ O_1 , Q_S і Q_F основної лінії – розмикаються і спрацьовує резервна лінія P_1 ;
- якщо відмовляють КЛ O_1 і P_1 , Q_F і Q_S основної і резервної лінії – розмикаються і спрацьовує резервна лінія P_2 ;
- якщо відмовляють одночасно O_1 , P_1 і P_2 , тоді схема втрачає працездатність.

Схема на рис. 4 складається з паралельно з'єднаних двох підсистем, кожна з яких має послідовно з'єднані елементи. У нормальному режимі експлуатації схеми всі автоматичні вимикачі та перемикачі основної лінії замкнено, а резервної – розімкнено і струм протікає від ТП до споживачів.

При аварійному режимі:

- при відмові КЛ O_1 або O_2 , основної лінії розмикаються і спрацьовують резервні лінії P_1 і P_2 ;
- при одночасній відмові O_1 або O_2 і P_1 або P_2 схема втрачає працездатність.

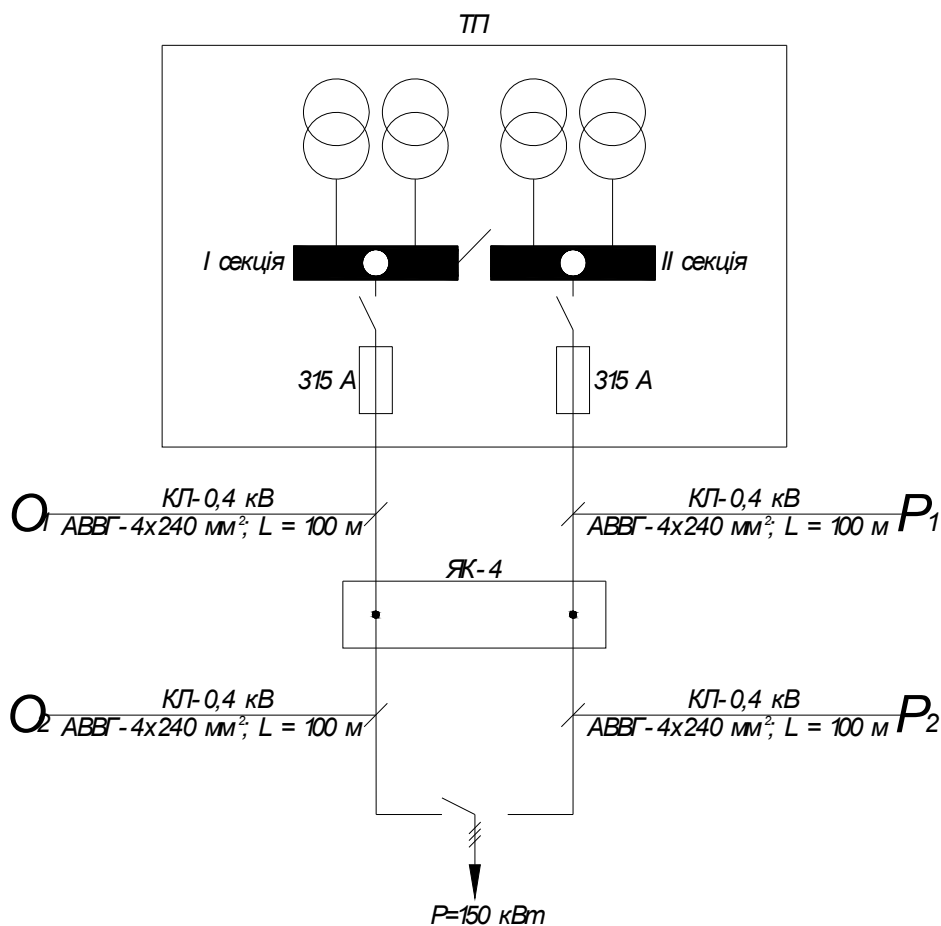


Рис. 4. Схема загального резервування з постійно ввімкненим резервом

Щоб оцінити надійність кожної схеми, визначимо їх показники безвідмовності кожного елемента за проміжок часу $t=3000$ год за наведеними формулами (1 – 4). Для визначення вірогідності безвідмовної роботи прийнято нормовані значення інтенсивності відмов $\lambda(t)$ елементів електричних схем, наведених у табл. 1 [9].

Таблиця 1. Інтенсивності відмов елементів схеми

Елементи	Інтенсивність відмов $\lambda \cdot 10^{-6}$, год
Вимикачі	0,4
Кабелі	0,02
Перемикачі	0,05
Запобіжники	0,5
Трансформатори силові	1,04

Вірогідність безвідмовної роботи елементів схем розраховується за формулою (2), результати розрахунків наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Результати розрахунків вірогідності безвідмовної роботи елементів схем

Назва елемента	Вірогідність безвідмовної роботи p_j	До якої схеми входить
Трансформатор	$P_{\text{трансф}}(3000) = e^{-1,04 \cdot 10^{-6} \cdot 3000} = 0,997$	Схема 1,2,3,4
Вимикач	$P_{\text{вим.}}(3000) = e^{-0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 3000} = 0,9988$	Схема 2,3
Кабельна лінія	$P_{\text{кл.}}(3000) = (e^{-0,02 \cdot 10^{-6} \cdot 3000}) = 0,99994$	Схема 1,2,3,4
Запобіжник	$P_{\text{запоб.}}(3000) = e^{-0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 3000} = 0,999$	Схема 1,2,3,4
Перемикач	$P_{\text{перем.}}(3000) = e^{-0,05 \cdot 10^{-6} \cdot 3000} = 0,99985$	Схема 1,2,3,4
Лічильник	$P_{\text{лічл.}}(3000) = e^{-4,20 \cdot 10^{-6} \cdot 3000} = 0,987479$	Схема 2,3

Вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$ схем розрахована за формулами (3 – 4) та представлена у табл. 3.

Таблиця 3. Результати розрахунків вірогідності безвідмовної роботи схем електропостачання

Номер	Схема	Вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$
1	Схема електропостачання без резервування	$P(t) = 0,997 * 0,99988 * 0,99994 * 0,99994 * 0,999 = 0,9957637$
2	Схема роздільного резервування з постійно ввімкненим резервом	$P(t) = 1 - (0,020416)^2 = 0,99958$
3	Схема загального активного резервування	$P(t) = 1 - (0,0190333)^3 = 0,9999932$
4	Схема загального резервування з постійно ввімкненим резервом	$P(t) = 1 - (0,005461)^2 = 0,9999702$

Як видно з табл. 3, найвищу вірогідність безвідмовної роботи, тобто найбільшу надійність забезпечує схема №3 – загального активного резервування. Це дозволяє рекомендувати такий вид резервування при проектуванні проекту зовнішнього електропостачання непромислового приміщення.

Висновки

1. На основі теоретичних досліджень встановлено, що при розробці системи енергопостачання необхідно використовувати статистичну інформацію щодо відмов резервних елементів системи та застосовувати метод резервування, який суттєво підвищує надійність системи в цілому.

2. Для розробки проекту системи електропостачання непромислового приміщення обґрунтовано доцільність використання різних видів резервування та на основі статистичних даних про відмови елементів електричних схем проведено розрахунки надійності трьох схем: роздільного резервування з постійно ввімкненим резервом; загального активного резервування та загального резервування з постійно ввімкненим резервом.

3. На основі результатів обчислювальних експериментів встановлено, що найбільший рівень надійності забезпечується при використанні схеми загального активного резервування, що дає підстави рекомендувати такий вид резервування при проектуванні систем електропостачання непромислового приміщення.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.001–95. Межгосударственный стандарт. Система стандартов Надежность в технике. Основные положения. – Взамен ГОСТ 27.001-81; Введ. 01.01.97.– М.: Изд-во стандартов, 1997. – 5 с.
2. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 27 с.
3. ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения». – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 23 с.
4. ГОСТ 27.410–87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – Введ. 01.01.89.– М.: Изд-во стандартов, 1988. – 57 с.
5. Брагин В.В., Чабон Ф. Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкции, процессов Рынок и качество Ярославии, 1997. Ярославль. – 67 с.
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).– Изд. 7, введ. 1986. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 643 с.
7. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем: Учебное пособие. – М.: Московский государственный институт электроники и математики.– 2002. – 113 с.
8. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем.– М.: Энергия, 1977. – 536 с.
9. Шаповалов И. Ф. Справочник по расчету электрических сетей. –К.:Будівельник. – 1974. – 236с.

Надійшла 12.06.2009