

О. В. Шаповалов, канд техн. наук, І. П. Кравець, канд. техн. наук, доцент

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА НАДІЙНІСТЬ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ

Велика кількість надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що виникають на території України, і не тільки, які спричиняють знеструмлення будинків, споруд, об'єктів і в цілому міст і цілих районів, потребує забезпечення систем протипожежного захисту джерелами електричної енергії, які є незалежними від електропостачання окремих районів чи міст та об'єктів.

Незалежно від режиму керування елементи систем автоматичного протипожежного захисту є елементами, які беруть участь в одному технологічному процесі (повідомлення людей про небезпеку, подавання, води, видалення диму тощо).

Всі системах протипожежного захисту (СППЗ), в якості основного джерела живлення використовують електромережу загального користування (220/380В змінного струму). У такому незмінному вигляді електроенергія подається для живлення силових виконавчих елементів (асинхронні приводні двигуни водяних насосів, вентиляторів тощо). Для керування роботою систем протипожежного захисту використовуються 12-24В постійного струму. Це потребує використання в системах керування протипожежним захистом додаткових перетворювачів, які б формували напругу відповідної форми.

Однотипні знеструмлення десятків і сотень населених пунктів, про що свідчать звіти ДСНС України та інших оперативних служб, впливає на забезпечення протипожежного захисту об'єктів та безпеки людей [5]. Враховуючи непередбачуваність виникнення подій необхідно застосовувати способи забезпечення резервного електроживлення незалежного від електропостачання та кліматичних умов експлуатації систем протипожежного захисту.

Метою роботи є запропонувати оптимальний спосіб формування напруги живлення та регулювання її параметрів для резервного живлення електроспоживачів автоматичних систем протипожежного захисту, що живляться від автономного джерела, яке складається з блока акумуляторних батарей та автономних інверторів напруги. Така схема резервного живлення дає можливість одночасно здійснювати контроль та регулювання величини напруги, частоти та можливості визначення параметрів елементів автономного джерела.

В процесі розгляду та оцінки надійності забезпечення електроживленням споживачів автоматичних систем протипожежного захисту брались до уваги раніше запропоновані способи підвищення надійності функціонування автоматичних систем протипожежного захисту шляхом резервування електроживлення від автономних джерел з використанням акумуляторних батарей та автономних інверторів напруги. Для порівняння з усіх відомих електроспоживачів систем протипожежного захисту взято найбільш поширений та найбільш потужний електричний споживач – асинхронний двигун.

Ймовірнісний метод розрахунку функціонування резервованої системи живлення внутрішнього протипожежного водопроводу з використанням генераторних установок та акумуляторними батареями з автономними інверторами напруги, враховуючи випадковий характер відключення ліній електропередач довів, що запропонована схема резервування, як з К2АН-АД, так і з 2К2АН-АД збільшує надійність функціонування систем протипожежного захисту. Збільшення кількості однотипних елементів покращило якісні характеристики джерела живлення, але негативно вплинуло на показники надійності, хоча і незначно, порівняно з резервуванням від двотрансформаторної підстанції.

Ключові слова: надійність, ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, електроживлення, системи протипожежного захисту.

Вступ. Велика кількість надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, що виникають на території України, і не тільки, що спричиняють знеструмлення будинків, споруд, об'єктів і в цілому міст і цілих районів, потребує забезпечення систем протипожежного захисту джерелами електричної енергії, які є незалежними від електропостачання окремих районів чи міст та об'єктів.

Всі системах протипожежного захисту (СППЗ), в якості основного джерела живлення використовують електромережу загального користування (220/380В змінного струму). У такому незмінному вигляді електроенергія подається для живлення силових виконавчих елементів (асинхронні приводні двигуни водяних насосів, вентиляторів тощо). Для керування роботою систем протипожежного захисту використовують

ються 12-24В постійного струму. Це потребує використання в системах керування протипожежним захистом додаткових перетворювачів, які б формували напругу відповідної форми. З метою забезпечення систем керування резервним електроживленням, відповідно до діючих нормативних документів [1], використовують акумуляторні батареї відповідної ємності.

Метою роботи є запропонувати оптимальний спосіб формування напруги живлення та регулювання її параметрів для резервного живлення електроспоживачів автоматичних систем протипожежного захисту, що живляться від автономного джерела, яке складається з блока акумуляторних батарей та автономних інверторів напруги. Така схема резервного живлення дає можливість одночасно здійснювати контроль та регулювання величини напруги, частоти та можливості визначення параметрів елементів автономного джерела.

Методи аналізу та способи забезпечення надійності електричних мереж, а також методи визначення характеристик надійності відновлюваних електромеханічних систем розглянуто в [2, 3, 4].

Актуальність теми. Одночасні знеструмування десятків і сотень населених пунктів, про що свідчать звіти ДСНС України та інших оперативних служб, впливає на надійність протипожежного захисту об'єктів та безпеки людей [5]. Враховуючи непередбачуваність виникнення подій, необхідно застосовувати способи забезпечення резервного електроживлення систем протипожежного захисту, які б не залежали від електропостачання та кліматичних умов експлуатування.

Виклад основного матеріалу. До показників надійності техніки належать такі її властивості: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережувальність. Одним з основних показників безвідмовності є ймовірність безвідмовної роботи об'єкта протягом заданого часу, тобто, що час T безвідмовної роботи системи чи елемента системи буде більшим від заданого часу t [2, 3, 5].

$$P(t) = P\{T \geq t\}. \quad (1)$$

Ймовірність відмови $Q(t)$ – це ймовірність того, що час T безвідмовної роботи елемента чи системи буде меншим від заданого часу t

$$Q(t) = P\{T < t\} \quad (2)$$

Для порівняння надійності декількох об'єктів в один і той самий час використовують коефіцієнт збільшення ймовірності безвідмовної роботи, або відповідно коефіцієнт зменшення ймовірності відмов t [5, 6].

$$S_p = \frac{P_1(t_i)}{P_2(t_i)}, \quad S_q = \frac{Q_1(t_i)}{Q_2(t_i)}. \quad (3)$$

З точки зору надійності об'єкти (елементи) систем протипожежного захисту перебувають в логічному послідовному з'єднанні, оскільки відмова будь-якого елемента призводить до відмови системи загалом [5, 6].

Для систем протипожежного захисту будь-якого об'єкта ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4)$$

де n – кількість елементів системи, $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента системи. При логічному послідовному з'єднанні елементів з інтенсивністю відмов λ_i інтенсивність відмов системи визначається за формулою [2, 3, 4].

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (5)$$

У випадку схеми логічного послідовного з'єднання елементів системи інтенсивність відмов мережі електроживлення АД дорівнює сумі інтенсивностей відмов мережі та інтенсивності відмов релейно-контакторної схеми керування [6].

$$\lambda_{oc} = \lambda_m + \lambda_{ck} \quad (6)$$

Для мережі основного живлення логічна схема з'єднань елементів має вигляд (рис.1). На схемі позначено: ЛЕП – лінії електропередач ($\lambda_{lep} = 1,46 \cdot 10^{-6}$), ПТ – знижувальний трансформатор ($\lambda_{пт} = 0,035 \cdot 10^{-6}$), КП – комутаційні пристрої (роз'єднувачі) ($\lambda_{кп} = 0,03 \cdot 10^{-6}$), Кб – кабельна лінія ($\lambda_{кб} = 7,5 \cdot 10^{-6}$) [2, 3, 6].

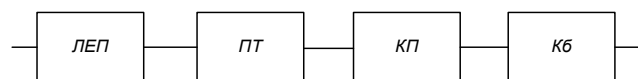


Рисунок 1 – Логічна схема електроживлення

Інтенсивність відмови мережі становитиме $\lambda_m = 9,025 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ [6].

Надійність мережі не враховує надійності генеруючих станцій. Генеруючі станції вважаються абсолютно надійними [2, 3, 6].

Підставивши отримані значення інтенсивностей відмов мережі (λ_m) та релейно-контакторної системи керування АД (λ_{ck}) у (6), отримаємо значення інтенсивності відмов електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання $\lambda_{oc} = 10,753 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$.

З метою визначення оптимальної схеми резервування електроживлення систем протипожежного захисту, порівняємо раніше запропоновану схему забезпечення електроживленням, яка передбачає логічне паралельне включення акумуляторних батарей з автономними інверторами напруги та підвищувальними трансформаторами [6].

У випадку резервування електроживлення систем протипожежного захисту від двотрансформаторної підстанції, оберт має послідовно-паралельну систему (рис.2)

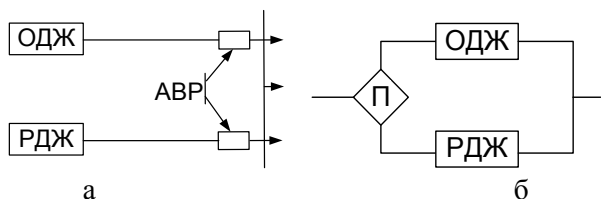


Рисунок 2 – Схема резервування електроживлення:
а – заступний вид резервування;
б – логічна схема з'єднань

У вказаному способі резервування основного джерела живлення (ОДЖ) на резервне (РДЖ) відбувається шляхом переключення з першого на друге перемикачем П (АВР).

При резервуванні від двотрансформаторної підстанції ми отримуємо дві абсолютно однакові мережі з однаковими параметрами. Тому за умови, що з двох (n) однакових елементів один є резервним (m), об'єкт втрачає працездатність при відмові усіх двох $k=m$, ймовірність безвідмовної роботи (функція надійності) буде записуватись [3].

$$P(t) = \sum_{k=0}^m C^k Q^k P^{n-k}(t), \quad (7)$$

де $C^k = n/(k(n-k))$ – кількість комбінацій елементів, $Q(t)$ – ймовірність відмови визначається як

$$Q(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad (8)$$

$P(t)$ – функція надійності одного елемента визначається як

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (9)$$

Підставивши значення інтенсивності відмов λ_{oc} [5], отримаємо

$$Q_{жс}(t) = (1 - \exp(-10.752 \cdot 10^{-6}t)), \\ P_{жс}(t) = 1 - Q_{жс}(t) = 1 - (1 - \exp(-10.753 \cdot 10^{-6}t))$$

Тому функція надійності мережі живлення електроспоживача системи протипожежного захисту з резервуванням від двотрансформаторної підстанції буде визначатись як добуток функції надійності резервованої мережі $P_{ж}(t)$ та перемикача $P_{п}(t)$ [5] і мати вигляд

$$P1(t) = P_{жс}(t) \cdot P_{п}(t) = (1 - Q_{жс}(t)) = \\ = 1 - (1 - \exp(-10.753 \cdot 10^{-6}t)) \cdot (\exp(-0.07 \cdot 10^{-6}t))$$

За умови, що електроживлення системи протипожежного захисту буде резервуватись від незалежного автономного джерела з акумуляторними батареями та інверторами напруги, об'єкт

буде мати складну послідовно-паралельну структуру. Логічні схеми з'єднань автономного резервного живлення з двома інверторами напруги (K2A1H-AD) та з чотирма інверторами напруги (2K2A1H-AD) [6] показано відповідно на рис.3 і рис.4

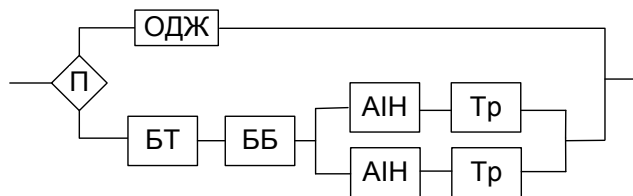


Рисунок 3 – Логічна схема з'єднань K2A1H-AD

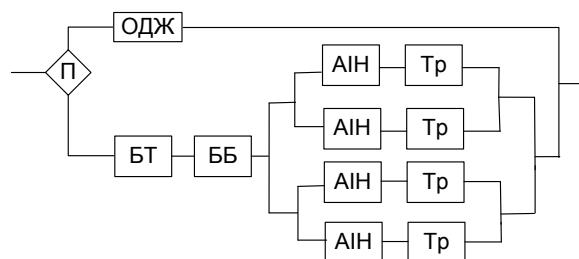


Рисунок 4 – Логічна схема з'єднань 2K2A1H-AD

Враховуючи той факт, що у випадку відмови будь якого елемента резервного джерела живлення воно не буде формувати напругу з необхідними параметрами, можна вважати, що у такому випадку резервне джерело не буде виконувати свої функції, тому з'єднання елементів резервного джерела електроживлення систем протипожежного захисту, можна розглядати як послідовне.

Враховуючи вищевказане, функція надійності джерела електроживлення системи протипожежного захисту з резервуванням від блока акумуляторних батарей (ББ) та двох інверторів напруги (АІН (K2A1H-AD)) $P2(t)$ буде визначатись як добуток функцій надійності перемикача $P_{п}(t)$, основного джерела $P_{ж}(t)$ та резервного джерела електроживлення $P_{р1}(t)$ і мати вигляд

$$P2(t) = P_{ж}(t) \cdot P_{р1}(t) \cdot P_{п}(t) \quad (10)$$

Провівши аналогічні розрахунки і підставивши значення у (8), (9), (10), отримаємо значення функції надійності джерела $P2(t)$ [2, 3, 6]

$$P2(t) = (1 - (1 - \exp(-11.449 \cdot 10^{-6}t))^2) \cdot (\exp(-0.07 \cdot 10^{-6}t))$$

За аналогічною послідовністю проводимо розрахунки для визначення функції надійності $P2(t)$ для мережі живлення з резервуванням від акумуляторних батарей (ББ) та чотирьох інверторів напруги (АІН (2K2A1H-AD))

Залежності ймовірностей безвідмовної роботи $P_{oc}(t)$ електроживлення системи і резервованої системи $P2(t)$, $P3(t)$ наведені на рис. 5.

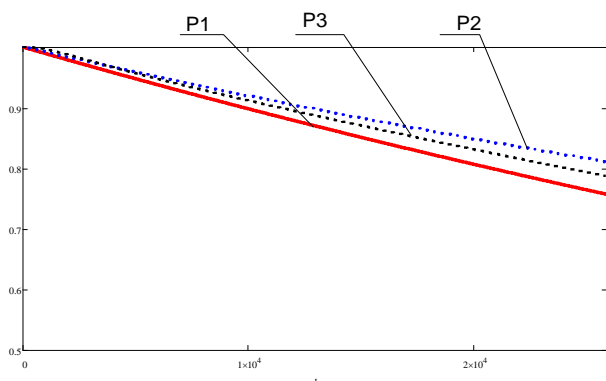


Рисунок 6 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи систем електроживлення: P1 – основної (P_{oc}), P2 – резервованої системи з К2АІН-АД, P3 – резервованої системи з 2К2АІН-АД

Підставивши отримані значення часу в формулу (3), визначаємо коефіцієнти збільшення ймовірностей безвідмовної роботи резервованих систем $S_p=1,14$ з К2АІН-АД і $S_p=1,13$ з 2К2АІН-АД.

Висновки. Ймовірнісний метод розрахунку функціонування резервованої системи живлення внутрішнього протипожежного водопроводу з використанням генераторних установок та акумуляторними батареями з автономними інверторами напруги, враховуючи випадковий характер відключення ліній електропередач, довів, що запропонована схема резервування як з К2АІН-АД, так і з 2К2АІН-АД збільшує надійність функціонування систем протипожежного захисту. Збільшення кількості однотипних елементів покращило якісні характеристики джерела живлення, але негативно вплинуло на показники надійності, хоча і незначно порівняно з резервуванням від двотрансформаторної підстанції.

Список літератури

1. Гук Ю. Б. Основы надежности энергоэлектрических установок / Ю. Б. Гук. – Л.: Высш. шк., 1976. – 236 с.
2. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем. – 3-е изд / Г. В. Дружинин. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.
3. Журахівський А. В. Надійність електричних систем і мереж: навч. посібник / А. В. Журахівський, Б. М. Кінаш, О. Р. Пастух. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 280 с.

4. Щербовських С. В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності відновлюваних багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження / С. В. Щербовських. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 296 с.

5. Боднар Г. Й., Шаповалов О. В. Розробка автономного джерела живлення для протипожежних систем внутрішнього водопостачання / Зб. наук. праць «Пожежна безпека», №20. – 2012. С.180-186.

6. Шаповалов О. В., Кравець І. П., Кушнір А. П. Оптимізація електричних параметрів автономного джерела електроживлення внутрішнього протипожежного водопостачання з акумуляторними батареями / Зб. Наук. праць «Пожежна безпека», №30. – 2017. С.180-186.

References

1. Huk Y.B. Fundamentals of reliability of energy electrical installations / Y.B. Huk. – Lviv, 1976. – 236s. (in Rus)
2. Druzhinin GV The reliability of automated sistem. – 3rd ed / G.V.Druzhigin. – M.: Energy, 1977. – 536s. (inUkr.)
3. Zhurahovsky A.V. Reliability of electrical systems and networks: Training aid. / A.V. Zhurahovsky, B.M. Kinash, O.R. Pastuh. – Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2012. – 280 p.
4. Shcherbovskykh S.V. Mathematical models and methods for determining the reliability characteristics of renewable bahatoterminalnyh taking into account the drains / S.V.Scherbovskykh. – Lviv, Lviv Polytechnic National University Publishing House, 2012. –296 s. (in Ukr.)
5. Bodnar G. Development of independent power supply for fire protection of internal water supply. Fire safety. Lviv State University of Life Safety – 20, 2012. (inUkr.)
6. Shapovalov O.V. Optimization of electrical parameters of autonomous source of power supply of internal fire water supply with rechargeable batteries. Fire safety. Lviv State University of Life Safety – 30, 2017. (inUkr.)

INFLUENCE OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM STRUCTURE ON THE RELIABILITY OF ELECTRICAL SUPPLY OF FIRE PROTECTION SYSTEMS

A large number of natural and man-made emergencies occurring on the territory of Ukraine, and not only that cause deforestation of buildings, structures, objects and cities and whole districts, require the provision of fire protection systems for sources of electricity that are independent of Electricity supply of certain areas or cities and objects.

Regardless of the control mode, elements of automatic fire protection systems are elements that take part in a single technological process (notifying people of danger, feeding, water, removing smoke, etc.).

All systems of fire protection (SPPZ), as the main power source use a common grid (220 / 380V AC). In this unchanged form, the electric power is fed to supply power executive elements (asynchronous actuators of water pumps, fans, etc.). To control the operation of fire protection systems, 12-24V DC is used. This requires the use of additional transducers in fire control systems to form the voltage of the corresponding form.

Simultaneous exhaustion of tens and hundreds of settlements, as evidenced by the reports of the DNS of Ukraine and other operational services, affects the provision of fire protection of objects and the safety of people [5]. Taking into account the unpredictability of the occurrence of events, it is necessary to apply methods of providing backup power supply independent of power supply and climatic conditions of operation of fire protection systems.

The purpose of the work is to propose the optimal way of forming the supply voltage and adjusting its parameters for the backup power of electric consumers of automatic fire protection systems powered by an autonomous power supply, which consists of a unit of battery and autonomous voltage inverters. Such a backup power scheme allows simultaneous control and regulation of the voltage, frequency, and the ability to determine the parameters of the autonomous source elements.

In the process of reviewing and assessing the reliability of power supply of electric consumers of automatic fire protection systems, previously noted ways to increase the reliability of the operation of automatic fire protection systems by reserving power supply from autonomous sources with the use of accumulator batteries and autocompressor voltage inverters were taken into account. For comparison, from all known electricians of fire protection systems, the most common and most powerful electric consumer is used - an asynchronous motor.

The probabilistic method for calculating the functioning of the backup power supply system for an internal fire-fighting water supply system using generator sets and accumulator batteries with autonomous inverters of voltage, taking into account the accidental nature of the disconnection of power lines, proved that the proposed reservation scheme, both with K2AIN-AD and with 2K2AIN-AD increases the reliability of functioning systems for fire protection. An increase in the number of similar items led to an improvement in the quality characteristics of the power supply, but had a negative impact on reliability, albeit slightly compared to the backup from the two-transformer substation.

Key words: reliability, probability of failure-free operation, failure rate, power supply, fire protection system.