

*О.В. Шаповалов, канд. техн. наук
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У АВТОНОМНОМУ ДЖЕРЕЛІ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З АКУМУЛЯТОРНИМИ БАТАРЕЯМИ

Сформульовані проблеми забезпечення протипожежного захисту об'єктів з ризиком масової загибелі людей, які мають недосконалі сполучення, інфраструктуру і знаходяться у віддалених від розвинених адміністративних центрів районах, проаналізовано наявні джерела автономного електричного живлення, які можна використовувати для резервування електроживлення системи внутрішнього протипожежного водопостачання, а також інших систем протипожежного захисту, та запропоновано напрямок підвищення рівня функціонування вказаних систем шляхом математичного моделювання впливу на роботу автономного джерела з акумуляторними батареями та автономними інверторами напруги для забезпечення нормативних параметрів її роботи.

Ключові слова: акумуляторна батарея, автономне живлення, протипожежне водопостачання.

О.В. Шаповалов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОНОМНОМ ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ С АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ

Сформулированы проблемы обеспечения противопожарной защиты объектов с риском массовой гибели людей, имеющих несовершенное сообщение, инфраструктуру и находящихся в отдаленных от развитых административных центров районах, проанализированы имеющиеся источники автономного электропитания, которые можно использовать для резервирования электропитания системы внутреннего противопожарного водоснабжения, а также других систем противопожарной защиты и предложено направление повышения уровня функционирования указанных систем путем математического моделирования влияния на работу автономного источника с акумуляторными батареями и автономными инверторами напряжения для обеспечения нормативных параметров ее работы.

Ключевые слова: акумуляторная батарея, автономное питание, противопожарное водоснабжение.

О.В. Shapovalov

MODELING OF TRANSIENTS IN INDEPENDENT POWER SUPPLY WITH BATTERY

Formulated problems in fire protection providing facilities with risk of mass death of people and imperfect connections, on infrastructure or remote from developed administrative centers areas. Analyzed used source of independent power supply that can be backup power supply system of internal fire water, and other fire protection systems and proposed the direction of increasing the effectiveness of these systems by mathematical modeling of the impact on the work of independent sources with batteries and autonomous voltage inverter to provide necessary parameters of its work.

Key words: storage battery, autonomous feed, fire-prevention water-supply.

Актуальність теми. Зростання кількості надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в Україні, які призводять до знеструмлення об'єктів, міст і цілих районів, вимагає по новому подивитись на проблему енергозабезпечення об'єктів та розробки альтернативних автономних джерел електричної енергії, які б забезпечували безперебійну роботу систем протипожежного захисту.

У системах протипожежного захисту (СППЗ), зокрема системах внутрішнього протипожежного водопостачання, для приводу насоса використовуються асинхронні двигуни (АД), для нормальної роботи яких необхідно забезпечити трифазну напругу синусоїдальної форми. Таку напругу можна формувати трифазною генераторною установкою або трифазним інвертором напруги, що живиться від акумуляторних батарей (АБ).

Метою роботи є запропонувати спосіб регулювання параметрів живлення електроспоживачів автоматичних систем протипожежного захисту (за винятком приймальних приладів систем пожежної сигналізації), що живляться від автономного джерела живлення, яке складається з акумуляторних батарей та автономних інверторів напруги яке поєднує одночасний контроль та регулювання величини напруги, а частоти та можливості визначення параметрів елементів автономного джерела шляхом математичного моделювання процесів які виникають у випадку задіяння автономного джерела.

Як приклад алгоритму системи керування роботою внутрішнього протипожежного водопостачання розглянемо базу відпочинку «Захар Беркут», яка розташована в с. Волосянка Сколівського району Львівської області. Це п'ятиповерхова цегляна будівля з дерев'яною двосхилою покрівлею, об'ємом до 5000 м³, п'ятий поверх – мансардний, висота поверху становить 2,6 м. База обладнана двома протипожежними водоймами, які розташовані на 5 м вище від нульової відмітки (рівня підлоги першого поверху) на відстані 80 м від будівлі. У відповідності до таблиць 3 [2, 4], для захисту вказаного об'єкта застосовується внутрішній протипожежний водопровід із гасінням одним стволом з витратою 2,5 л/с. [2, 4]. Беручи до уваги, що вказаний об'єкт облаштований внутрішнім протипожежним водопроводом діаметром 50 мм, пожежні кран-комплекти обладнані ручними пожежними стволами з діаметром насадки 16 мм, а висота компактної частини струменя має становити 6 м витрата на гасіння імовірної пожежі повинна корегуватись за табл.5 [2, 4] і становить 2,6 л/с. Структурна схема автономного джерела з акумуляторними батареями та автономними інверторами напруги для забезпечення електроживленням внутрішнього протипожежного водопостачання об'єкта, описаного вище, показана на рис. 1.

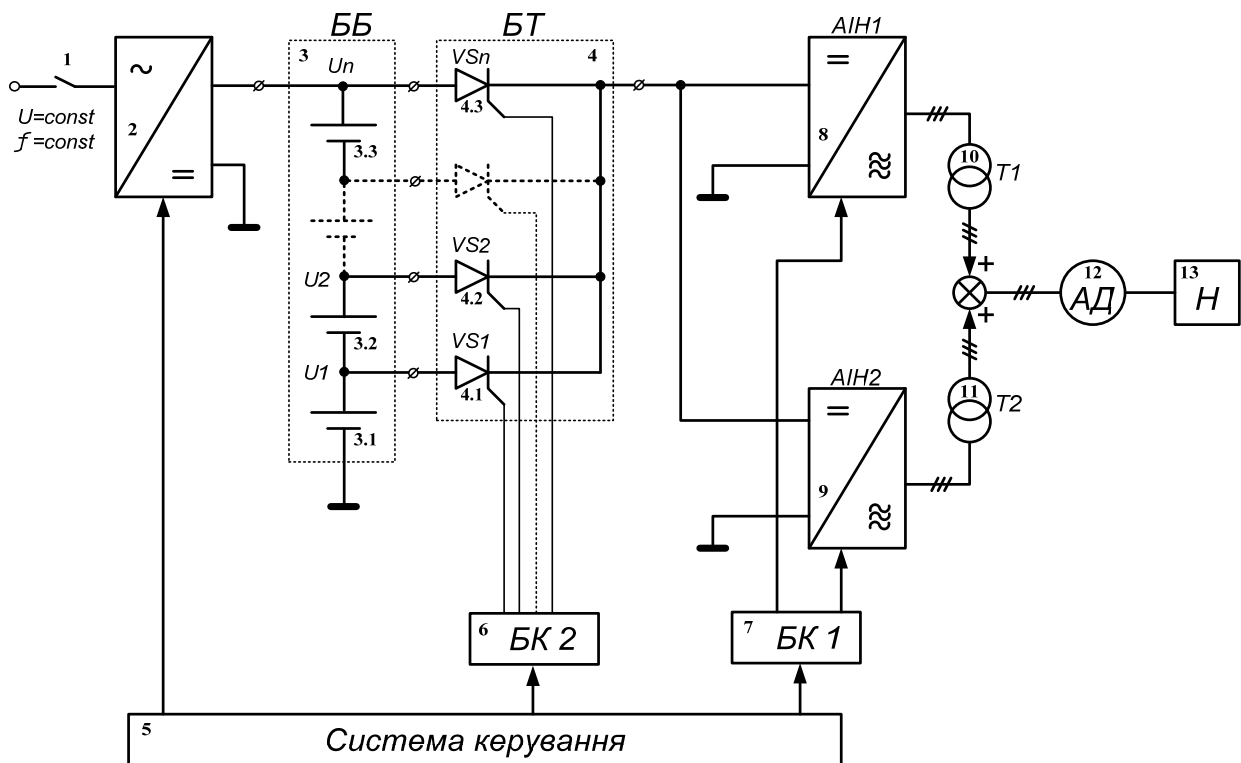


Рисунок 1 – Схема автономного джерела для резервування електроживлення АД

Опис схеми живлення АД від автономного джерела з АБ. В запропонованій схемі (рис.1) формування трифазної напруги здійснюється трифазними автономними інверторами напруги (АН1, АН2), які по вхідному колу з'єднані паралельно і живляться від АБ. АН1, АН2 під'єднанні до первинних обмоток трифазних трансформаторів Т1, Т2, обмотки яких з'єднані за схемою «зірка». Вторинні обмотки трансформаторів з'єднані послідовно. Напруги вторинних обмоток трансформаторів додаються. Коефіцієнти трансформації обох трансформаторів однакові. За допомогою трансформаторів відбувається процес формування трифазної напруги живлення привідного АД насоса. Внаслідок того, що між АН1 і АН2 є зсув на 30° , напруга живлення АД є квазісинусоїдною. Схема, наведена на рис.1, передбачає модульний принцип побудови. Це дає змогу без зайвих зусиль зібрати і встановити автономне джерело живлення відповідно до встановленого на об'єкті обладнання у будь-якому приміщенні. АБ, які збираються у блок батарей (ББ), залежно від потужності АД і розрахункового часу роботи системи, можна з'єднувати як послідовно, так і паралельно.

Побудова математичної моделі. Для побудови математичної моделі системи внутрішнього протипожежного водопостачання з автономним джерелом живлення використано теорію математичного моделювання електромашини вентильних систем (ЕМВС) [1].

Відповідно до вищевказаної теорії, елементи схеми (АБ, Т, АД), а також АН, який модульно поділений на анодні та катодні вентильні групи (АВГ, КВГ), розглядаються як багатополіусники, вітки яких з'єднуються між собою у вузлах системи. Математична модель такої системи є замкнутою системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівнянь, що описують елементи системи, і рівнянь для визначення потенціалів вузлів системи.

Кожний елемент системи описується зовнішнім вузловим векторним рівнянням:

$$p\vec{i}_e + \vec{G}_e \cdot \vec{\varphi}_e + \vec{C}_e = 0, \quad (1)$$

де $\vec{i}_e = (i_1, \dots, i_n)_t$; $\vec{\varphi}_e = (\varphi_1, \dots, \varphi_n)_t$ – вектори струмів зовнішніх віток та потенціалів зовнішніх полюсів електричного багатополіусника; \vec{G}_e, \vec{C}_e – відповідно матриця ($n \times n$) і вектор розмірністю n , які визначаються параметрами структурного елемента; n – кількість полюсів електричного багатополіусника. Рівняння (1) є узагальненим рівнянням структурного елемента (АБ, АН1, АН2, Т1, Т2, АД), яке отримуємо з рівнянь, що описують роботу елементів схеми.

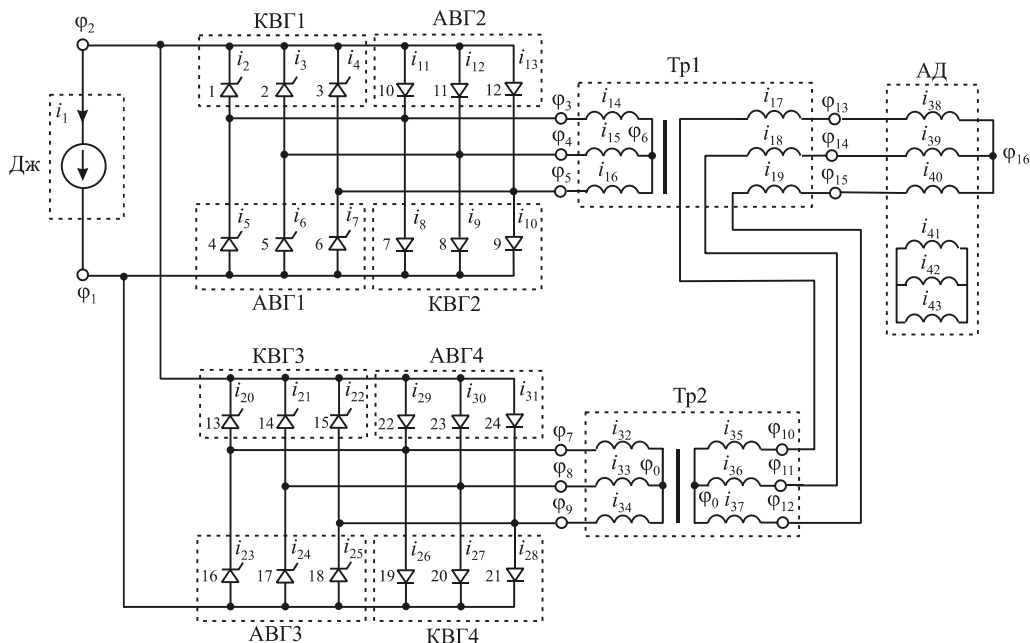


Рисунок 2 – Розрахункова схема автономного джерела живлення АД системи внутрішнього протипожежного водопостачання

З'єднання елементів між собою задається матрицями Π_j , які встановлюють на основі першого закону Кірхгофа математичний зв'язок між струмами зовнішніх віток структурних елементів, відповідно до схеми з'єднань. Кількість рядків матриці дорівнює кількості незалежних вузлів системи, а кількість стовпців – кількості зовнішніх віток елемента. Елементами матриці є 0 і 1. Якщо i -та зовнішня вітка структурного елемента входить в j -ий незалежний вузол системи, то на перетині i -го стовпчика та j -го рядка записується 1, всі інші елементи матриці дорівнюють 0.

Співвідношення між потенціалами зовнішніх полюсів елементів та потенціалами незалежних вузлів системи описується рівнянням [1]:

$$\vec{\varphi}_e = \vec{n}_j^T \cdot \varphi_c, \quad (2)$$

де $\vec{\varphi}_c$ – вектор потенціалів незалежних вузлів системи.

Потенціали незалежних вузлів схеми (рис.2) можуть бути визначені з векторного рівняння виду [1]:

$$\vec{G}_c \cdot \vec{\varphi}_c + \vec{C}_c = 0, \quad (3)$$

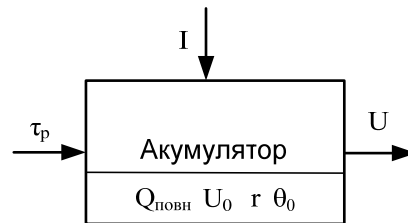
де коефіцієнти визначаються на основі коефіцієнтів зовнішніх вузлових векторних рівнянь виду (1) кожного структурного елемента та матриць з'єднань елемента. Вони визначаються за формулами:

$$\vec{G}_c = \sum_{j=1}^m \vec{n}_j \cdot \vec{G}_{ej} \cdot \vec{n}_j^T; \quad \vec{C}_c = \sum_{j=1}^m \vec{n}_j \cdot \vec{C}_{ej}, \quad (4)$$

m – кількість елементів, що входять у систему.

Рівняння (3) є математичною моделлю загальної схеми (рис.1) живлення АД від автономного джерела з АБ [2].

Структура математичної моделі матиме вигляд, представлений на рис. 3. Вихідним параметром математичної моделі електрохімічних акумуляторів або батареї, є напруга розряду (U), а вхідним параметром – тривалість розряду (τ_p). (Q_0 – початковий заряд АБ, $Q_{повн}$ – повний заряд АБ, r – внутрішній опір АБ).



$$U = U(\tau_p, I, r, Q_{повн}, U_0, \theta_0)$$

Рисунок 3 – Структура математичної моделі електромеханічного акумулятора в режимі розряду

При формуванні математичної моделі необхідно враховувати, що акумулятор до моменту початку тестування вже міг віддати деяку долю ємності q , то з урахуванням цього розрядна характеристика може бути представлена у вигляді:

$$U = E - R \cdot I + \left(\exp\left(-\frac{q+I \cdot t}{C_1 \cdot b}\right) - 1 \right) + \frac{Q}{C_2} \cdot (\ln(-Q + q + I \cdot t) - \ln(-Q)) \quad (5)$$

де Q – ємність акумулятора; C_2^Q – коефіцієнт, що відповідає початковій ємності конденсатора четвертої ділянки моделі АБ; E – електрорушійна сила, що відповідає напрузі акумулятора; C_1 – ємність конденсатора третьої ділянки моделі із зниженням напруги на резисторі r ; q – ємність АБ, яку він втратив до початку роботи; I – постійний зовнішній струм; R – величина активного опору АБ. При цих обмеженнях:

$$I \in [0; I_{max}]$$

$$t \in [0; t_{max}].$$

Коефіцієнти математичної моделі були визначені на основі експериментальних даних з допомогою методу найменших квадратів для акумулятора батарей FTS 12-7,2 (свинцево-кислотна обслуговуюча)[3].

Порівнявши результати математичного моделювання параметра напруги акумуляторних батарей, які використовуються у автономному джерелі, і їх навантажені електроспоживачем системи протипожежного водопостачання (приводом водяного насоса підвищувача тиску води), під'єданого за схемою, вказаною на рис. 1, та результатів експерименту, проведеного на експериментальній установці, зібраній за схемою вказаною на рис. 1, отримали результат, показаний на рис. 4.

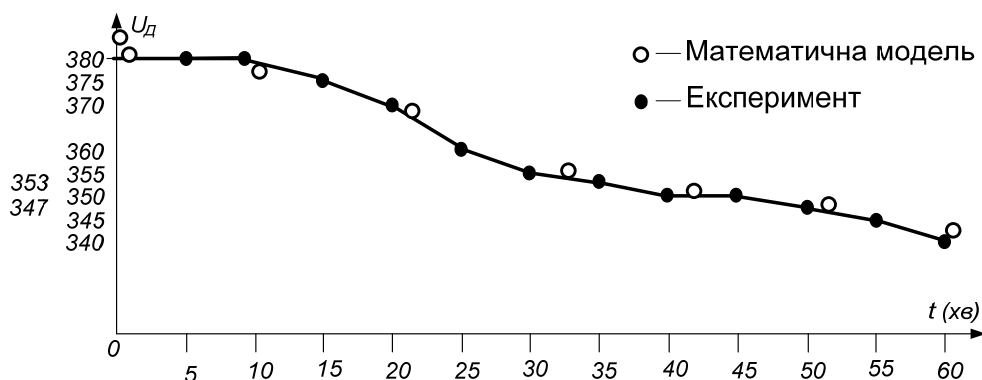


Рисунок 4 – Залежність напруги акумуляторних батарей автономного джерела в часі

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі схеми живлення електроспоживачів систем протипожежного захисту (АД водяного насоса системи ВПВ) ми зіставили результати дослідження перехідних процесів на експериментальній установці від автономного джерела з АІН та АБ (рис. 1) з аналогічними результатами, одержаними при моделюванні. Оцінку адекватності проведено за миттєвими значеннями фазних напруг акумуляторних батарей. Розбіжність між миттєвими значеннями напруг, одержаних на експериментальній установці, та миттєвими значеннями напруг, одержаних в результаті математичного моделювання, становить не більше 8 %. Такі результати оцінки свідчать про достатній рівень адекватності моделі і дають змогу при таких припущеннях щодо елементів схем продовжувати дослідження цих схем методом математичного моделювання.

Висновки. Для живлення асинхронних двигунів привода насосів – підвищувачів тиску води в системах внутрішнього протипожежного водопостачання можна використовувати автономні джерела з АБ і перетворювачами енергії. Такі джерела живлення дадуть змогу забезпечити безперебійну роботу насосів протягом розрахункового часу від моменту виявлення пожежі до прибуття оперативного рятувальних підрозділів. Для ефективного використання запасу енергії АБ необхідно процес пуску двигуна регулювати, тобто здійснювати частотний пуск.

Список літератури

1. Плахтина Е.Г. Математическое моделирование электромашиноventильных систем / Плахтина Е.Г. – Львов, 1986. – 164 с.
2. Боднар Г.Й. Розробка автономного джерела живлення для протипожежних систем внутрішнього водопостачання / Г.Й.Боднар, О.В. Шаповалов // Збірник наукових праць «Пожежна безпека» – Л.: ЛДУ БЖД, 2012, – С. 180-186. – №20.
3. Синченко С.В., Ширинский С.В. Построение математических моделей разрядных характеристик электрохимических аккумуляторов различных типов при помощи схем замещения // Авіаційно-космічна техніка і технології – Харків. Харківський авіаційний інститут, 2013, – С. 133-138. – №7
4. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід і каналізація.

References

1. Plakhtuna E.G. Mathematical modeling of electro machine-gate systems, Lviv, 1986. – 164s. (in Rus)
2. Bodnar G. *Development of independent power supply for fire protection of internal water supply*. Fire safety. Lviv State University of Life Safety – 20, 2012. (in Ukr.)
3. Sinchenko S.V. *Construction of mathematical models of electrochemical battery discharge characteristics of various types using equivalent circuits*. Aerospace equipment and technology. Kharkiv Aviation Institute – 7, 2013. (in Rus).
4. State building norms B.2.5.–64:2012. *Internal plumbing and sewage system*

