

*О. В. Шаповалов, кандидат технических наук
Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности
ГСЧС Украины*

ЗАВИСИМОСТЬ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ СОСТАВА ИХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассмотрена проблема обеспечения надежной работы электрических потребителей системы автоматической противопожарной защиты и пути ее решения. Определены показатели и проведено сравнение параметров надежности функционирования электропотребителей систем автоматической противопожарной защиты, использующих различное количество составных частей автономного источника электроэнергии и различные схемы активного резервирования электропитания, которые позволяют влиять на качество сформированного напряжения для питания электропотребителей систем противопожарной защиты.

Ключевые слова: надежность, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, электропитание, системы противопожарной защиты.

*O.V. Shapovalov, Candidate of Science (Engineering)
Lviv State University of Life Safety The State Emergency Service of Ukraine*

DEPENDENCE OF THE RELIABILITY OF THE OPERATION OF THE FIRE FIGHTING PROTECTION SYSTEMS ON THE COMPOSITION OF THEIR ELECTRIC POWER SYSTEM

The article considers the problem of ensuring reliable operation of electrical consumers of the automatic fire protection system and ways to solve it. The indicators are determined and the reliability parameters of the operation of electric consumers of automatic fire protection systems using a different number of components of an autonomous electric power source and various schemes of active power backup, which allow influencing the quality of the generated voltage to power electric consumers of fire protection systems, are compared.

Keywords: reliability, probability of failure-free operation, failure rate, power supply, fire protection systems.

Введение. Большое количество чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, которые вызывают обесточивание зданий, сооружений, объектов а также целых городов и районов, указывает на необходимость обеспечения систем противопожарной защиты источниками электрической энергии, которые независимы от электроснабжения отдельных объектов, районов или городов.

Все системы противопожарной защиты (СППЗ), в качестве основного источника питания используют электросеть общего пользования (220 / 380В переменного тока). В таком виде электроэнергия подается для питания силовых

исполнительных элементов (асинхронные приводные двигатели водяных насосов, вентиляторов, и т.д.). Для управления работой систем противопожарной защиты используются иные - слаботочные сети 12-24В постоянного тока. Для обеспечения работы систем управления противопожарной защитой в конструкции элементов систем предполагается использование дополнительных преобразователей, которые формируют напряжение соответствующей формы. С целью обеспечения систем управления резервным электропитанием, в соответствии с действующими нормативными документами [1], используют аккумуляторные батареи соответствующей емкости.

Целью работы является предложить оптимальный способ формирования напряжения питания и регулирования ее параметров для резервного питания силовых электрических исполнительных элементов автоматических систем противопожарной защиты, питающихся от автономного источника питания, которое состоит из блока аккумуляторных батарей и автономных инверторов напряжения. Такая схема резервного питания позволяет одновременно осуществлять контроль и регулирование величины напряжения и частоты, а также возможности определения параметров элементов автономного источника.

Методы анализа и способы обеспечения надежности электрических сетей, а также методы определения характеристик надежности восстанавливаемых электромеханических систем рассмотрены в [2, 3, 4].

Актуальность темы. Согласно статистическим данным, которые отображены в отчетах Государственной службы по чрезвычайным ситуациям (ГСЧС) Украины и других оперативных служб, обесточивание объектов, которое происходит в результате чрезвычайной ситуации непосредственно влияет на обеспечение противопожарной защиты объектов и безопасности людей [5]. Учитывая непредсказуемость возникновения событий необходимо применять иные способы обеспечения систем противопожарной защиты резервным электропитанием которое не зависит от городского электроснабжения и климатических условий в которых они эксплуатируются.

Изложение основного материала. К показателям надежности относятся показатели ее свойств - безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохранности. Одним из основных показателей безотказности есть вероятность безотказной работы объекта в течение заданного времени, то есть время T безотказной работы системы или элемента системы будет больше заданного времени t [2, 3, 5].

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

Вероятность отказа объекта надежности (системы) $Q(t)$ - это вероятность того, что время T безотказной работы объекта (системы) будет меньше заданного времени t

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

Для сравнения надежности нескольких объектов (систем) в одно и то же время используется коэффициент увеличения вероятности безотказной работы, или соответственно коэффициент уменьшения вероятности отказов за время t [5, 6].

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

С точки зрения надежности объекты (элементы) системы противопожарной защиты находятся в логическом последовательном соединении, поскольку отказ любого элемента приводит к отказу системы в целом [5, 6].

Для систем противопожарной защиты любого объекта вероятность безотказной работы определяется по формуле

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

где n - количество объектов (элементов системы), $P_i(t)$ - вероятность безотказной работы i -го элемента системы. При логическом последовательном соединенных объектов (элементов системы) с интенсивностью отказов λ_i интенсивность отказов системы определяется по формуле [2, 3, 4]

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

В случае схемы логического последовательного соединения элементов системы интенсивность отказов сети электропитания потребителей равна сумме интенсивностей отказов сети и интенсивности отказов релейно-контакторной схемы управления [6].

$$\lambda_{oc} = \lambda_c + \lambda_{cy} \quad (6)$$

Для сети основного питания логическая схема соединений элементов имеет вид (рис.1). На схеме обозначено:

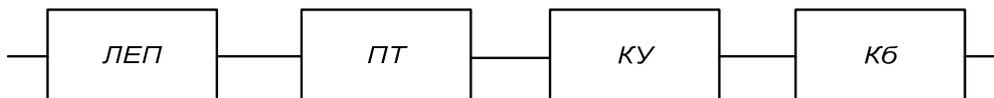


Рисунок 1 – Логическая схема электропитания: ЛЭП - линии электропередач ($\lambda_{л\text{еп}} = 1,46 \cdot 10^{-6}$), ПТ - понижающий трансформатор ($\lambda_{п\text{т}} = 0,035 \cdot 10^{-6}$), КУ - коммутационные устройства (разъединители) ($\lambda_{к\text{у}} = 0,03 \cdot 10^{-6}$), Кб - кабельная линия ($\lambda_{к\text{б}} = 7,5 \cdot 10^{-6}$) [2, 3, 6].

Интенсивность отказа сети составит $\lambda_c = 9,025 \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}$ [6].

Надежность сети не учитывает надежность генерирующих станций. Генерирующие станции считаются абсолютно надежными [2, 3, 6].

Подставив полученные значения интенсивностей отказов сети (λ_c) и релейно-контакторной системы управления электропотребителей (λ_{cy}) в (6) получим значение интенсивности отказов электропитания основной системы $\lambda_{oc} = 10,753 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$.

Для определения оптимальной схемы построения резервного электропитания для систем противопожарной защиты, необходимо сравнить показатели надежности ранее предложенные схемы и схемы обеспечения электропитанием, которая предусматривает логическое параллельное включение аккумуляторных батарей с автономными инверторами напряжения и повышающими трансформаторами [6].

В случае резервирования электропитания систем противопожарной защиты от двухтрансформаторной подстанции, вид соединения элементов имеет последовательно-параллельную схему (рис.2)

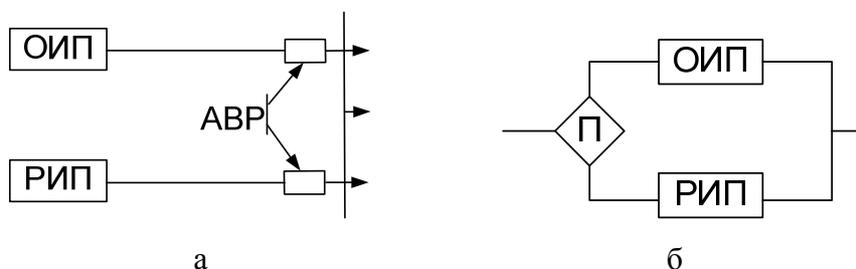


Рисунок 2 – Схема резервирования электропитания:

а – замещающий вид резервирования; б – логическая схема соединений; ОИП- основной источник питания; РИП – резервный источник питания; П (АВР) – переключатель (аварийного включения резерва)

При резервировании от двухтрансформаторной подстанции мы получим две абсолютно одинаковые сети с одинаковыми параметрами. Поэтому при условии, что из двух (n) одинаковых элементов один является резервным (m), объект теряет работоспособность при отказе всех двух $k = m$, вероятность безотказной работы (функция надежности) будет записываться [3]

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

где $C^k = n / (k (n-k))$ - количество комбинаций элементов, $Q(t)$ - вероятность отказа определяется как

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

$P(t)$ - функция надежности одного элемента определяется, как

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

Подставив значения интенсивности отказов λ_{oc} [5] получим

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

Функция надежности сети питания электропотребителей системы противопожарной защиты с резервированием от двухтрансформаторной подстанции будет определяться как произведение функции надежности резервированной сети $P_{П}(t)$ и переключателя $P_n(t)$ [5] и иметь вид

$$P_I(t) = P_{П}(t) \cdot P_n(t) = (1 - Q_{П}(t) = 1 - (1 - \exp(-10.753 \cdot 10^{-6}t))) \cdot (\exp(-0.07 \cdot 10^{-6}t))$$

При условии, что электропитание системы противопожарной защиты будет резервироваться от независимого автономного источника с аккумуляторными батареями и инверторами напряжения, объект будет иметь сложную последовательно-параллельную структуру. Логические схемы соединений элементов автономного резервного питания с двумя инверторами напряжения (К2АИН-АД) и с четырьмя инверторами напряжения (2К2АИН-АД) [6] показано соответственно на рис.3 и рис.4

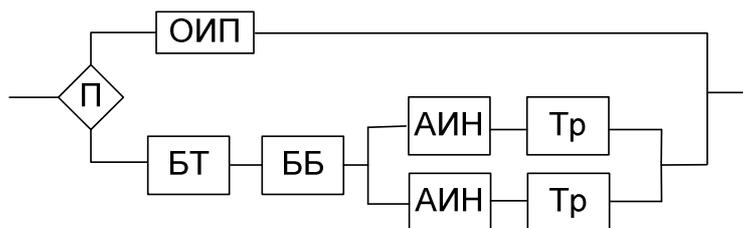


Рисунок 3 – Логическая схема соединений К2АИН-АД: БТ-блок тиристоров; ББ- блок аккумуляторных батарей; АИН-автономный инвертор напряжения; Тр-трансформатор

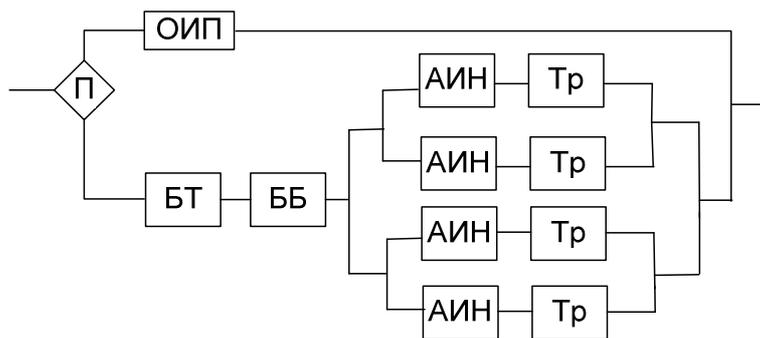


Рисунок 4 – Логическая схема соединений 2К2АИН-АД

Учитывая тот факт, что при отказе любого элемента резервного источника питания оно не будет формировать напряжение с необходимыми параметрами, поэтому можно считать, что в таком случае резервный источник не будет выполнять свои функции, поэтому соединение элементов резервного источника электропитания систем противопожарной защиты, можно рассматривать как последовательное.

Учитывая вышеуказанное, функция надежности источника электропитания

системы противопожарной защиты с резервированием от блока аккумуляторных батарей и двух инверторов напряжения (АИН (К2АИН-АД)) $P2(t)$ будет определяться как произведение функций надежности переключателя $P_n(t)$, основного источника $P_{II}(t)$ и резервного источника электропитания $P_{pI}(t)$ и иметь вид

$$P2(t) = P_{II}(t) \cdot P_{pI}(t) \cdot P_n(t) \quad (10)$$

Проведя аналогичные расчеты и подставив значения в (8), (9), (10) получим значение функции надежности источника $P2(t)$ [2, 3, 6]

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

С аналогичной последовательностью проводим расчеты для определения функции надежности $P3(t)$ для сети питания с резервированием от аккумуляторных батарей и четырех инверторов напряжения (АИН (2К2АИН-АД))

Зависимости вероятностей безотказной работы электропитания системы и резервированной системы $P2(t)$, $P3(t)$ приведены на рис. 5.

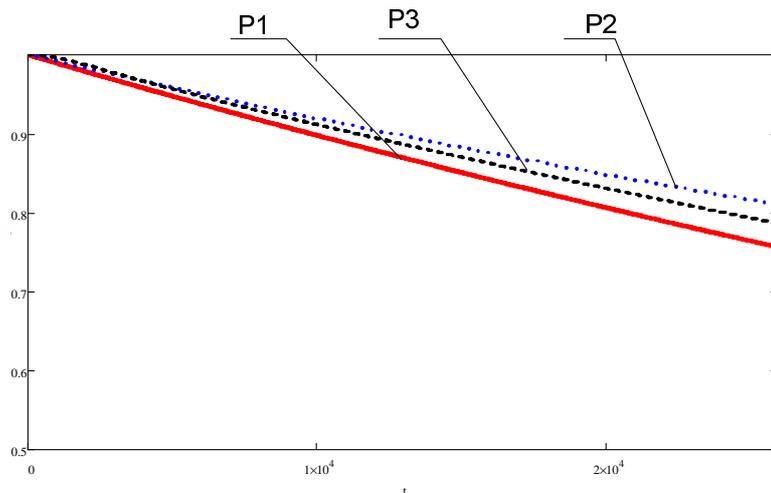


Рисунок 6 - Зависимость вероятности безотказной работы систем электропитания: P1- основной ($P_{оп}$), P2- резервированной системы с К2АИН-АД, P3 - резервированной системы с 2К2АИН-АД

Подставив полученные значения времени в формулу (3), определяем коэффициенты увеличения вероятности безотказной работы резервированными системы $S_p=1,14$ с К2АИН-АД и $S_p=1,13$ с 2К2АИН-АД.

Выводы. Вероятностный метод расчета функционирования резервной системы питания для систем противопожарной защиты с использованием аккумуляторных батарей и автономных инверторов напряжения, учитывая случайный характер отключения линий электропередач доказал, что предложенная схема резервирования, как с К2АИН-АД, так и с 2К2АИН-АД увеличивает надежность функционирования систем противопожарной защиты.

Увеличение количества однотипных элементов привело к улучшению качественных характеристик источника питания, но негативно повлияло на показатели надежности, хотя и незначительно по сравнению с предыдущим способом.

Список литературы

1. Гук Ю. Б. Основы надежности энергоэлектрических установок. – Л.: Высш. шк., 1976. – 236 с.
2. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем.- 3-е изд.- М.:Энергия, 1977. – 536 с.
3. Журахівський А.В., Кінаш Б.М. , Пастух О.Р. Надійність електричних систем і мереж: навч. посібник. – 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. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. -296 с.
5. Боднар Г. Й., Шаповалов О. В. Розробка автономного джерела живлення для протипожежних систем внутрішнього водопостачання. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». – Львів:№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. Збірник наукових праць «Пожежна безпека». – Львів:№30.- 2017. С.180-186.