

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Груздев В.В., главный инженер проектов,

ООО «ТСН-электро», Н.Новгород,

Волков А.С., ведущий инженер,

ООО «ТСН-электро», Н.Новгород,

Крюков О.В., д-р техн. наук, зам. директора по науке,

ООО «ТСН-электро», Н.Новгород

Рассмотрены пути повышения надежности работы объектов электроэнергетики путем аппаратного резервирования элементов систем электроснабжения. Предложены варианты реализации различных видов структурообразования трансформаторных подстанций объектов повышенной опасности. Представлены теоретически обоснованные показатели расчета надежности, позволяющие оценить вероятность безотказной работы и среднее время безотказной работы при различных способах резервирования систем. Выполнены численные расчеты надежности для характерных примеров систем электроснабжения с резервированием. Показано, что наилучшие показатели надежности обеспечивают системы распределительных устройств при скользящем резервировании с замещением.

Ключевые слова: надежность, система электроснабжения, резервирование, трансформаторные подстанции, вероятность безотказной работы.

ANALYSIS OF WAYS TO IMPROVE RELIABILITY BY HARDWARE REDUNDANCY OF POWER FACILITIES

Gruzdev V.V., Volkov A.S., Kryukov O.V.

The ways of increasing the reliability of the electric power facilities by means of hardware redundancy of the elements of power supply systems are considered. Variants of implementation of various types of structure formation of transformer substations of high-risk facilities are proposed. The paper presents theoretically substantiated indicators for calculating the reliability, which make it possible to assess the probability of failure-free operation and the mean time of failure-free operation with various methods of system redundancy. Numerical calculations of reliability are performed for typical examples of redundant power supply systems. It is shown that the best indicators of reliability are provided by switchgear systems with sliding redundancy with replacement.

Keywords: reliability, power supply system, redundancy, transformer substations, probability of failure-free operation.

ВВЕДЕНИЕ

При процессе перспективного развития электроэнергетических систем факторы надежности приобретают исключительно важное значение [1–4]. Глубокая информатизация процессов управления

системой, повышение темпов управления процессами и снижение ущербов от отказов оборудования требуют существенного повышения уровней надежности всех без исключения звеньев систем. Наиболее эффективным способом повышения

надежности объектов электроэнергетики является резервирование наиболее ответственных элементов путем введения избыточности, т. е. дополнительных средств и ресурсов, сверх минимально необходимых – для выполнения ими заданных функций [5–8]. Существуют различные виды резервирования объектов повышенной опасности (структурное, временное, информационное), среди которых выделим *структурное резервирование*, которое получило наибольшее распространение в системах электроснабжения (СЭС) [9–12] и комплектных трансформаторных подстанций (КТП) [13–16]. Однако для рационального применения аппаратных средств необходимо оценивать влияние возмущающих воздействий [17–20] и обеспечить эффективную защиту в соответствии с нормативно-технической документацией.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Структурное резервирование может быть организовано:

- по соотношению количества основных и резервных элементов;
- способу включения резерва;
- режиму работы резервных элементов;
- способам их подключения.

Резервирование является:

- общим, если резервируется вся система (объект);
- отдельным (поэлементным), если резервируются отдельные элементы;
- групповым, при резервировании группы элементов;
- скользящим, когда все основные элементы одинаковы, а резервные не закрепляются за основными и могут заменить любой из них.

Системы с общим структурным резервом относятся к последовательно-параллельным, а с отдельным – к параллельно-последовательным соединениям. При общем резервировании в системе имеется только одна резервированная группа,

а при отдельном – столько, сколько элементов в последовательной системе.

По способу включения различают резервирование с постоянно включенным резервом и с резервом, включаемым замещением основных элементов. При постоянно включенном резерве основные и резервные подсистемы функционируют одновременно. Недостаток общего резервирования с постоянным включением резервной системы заключается в значительном увеличении объема используемого оборудования. Его рекомендуется применять при небольшой кратности резервирования, поскольку его основное преимущество – простота.

При включении замещением резервные подсистемы включаются только после отказа основных, находясь до этого в состоянии ненагруженного резерва (хранение, холодный резерв); включенного, но ненагруженного (облегченный резерв); нагруженного (горячий резерв), когда один или несколько резервных элементов находятся в режиме основного.

При ненагруженном резерве интенсивность отказов резервной подсистемы λ_p во много раз меньше, чем основной λ_0 . Поэтому часто принимают, что $\lambda_p = 0$. При нагруженном резерве резервная подсистема имеет такую же интенсивность отказов, как и основная: $\lambda_p = \lambda_0$. При облегченном – $0 < I_\delta < I_i$. Вместо λ_p иногда за-

дается коэффициент облегчения: $k_l = \frac{I_\delta}{I_i}$,

$0 < k_l < 1$.

Замещение отказавшего основного элемента резервным можно проводить вручную, полуавтоматически и автоматически. В первом случае не требуется никакой аппаратуры переключения, но время переключений относительно велико. Так, на КТП при автоматическом переключении используют системы автоматического ввода резерва (АВР), уменьшающие время переключения до десятых долей секунды, но обладающие конечной надежностью.

6 Системы электроснабжения

Скользкий резерв дает относительно большой выигрыш в надежности, но при автоматической замене отказавшего элемента требуется большое количество соединений и переключателей, так как каждый резервный элемент должен быть соединен с каждым рабочим. Это несколько обесценивает идею автоматического включения скользкого резерва.

Неавтоматический ввод скользкого резерва возможен при наличии в ЭЭС компрессорного цеха одного передвижного резервного трансформатора 6–10/0,4 кВ, доставляемого на место аварии и подключаемого к сети взамен отказавшего. На подстанциях 330–500 кВ с трехфазными группами однофазных автотрансформаторов предусмотрен четвертый однофазный автотрансформатор, автоматически подключаемый при отказе одного из трансформаторов группы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СЭС

Выигрышем надежности является отношение количественной характеристики надежности резервированной системы R_c к той же характеристике нерезервированной системы или системы с другим видом резервирования R_0 . Выигрыш надежности в течение времени t по вероятности отказов $G_Q(t)$, вероятности безотказной работы (ВБР) $G_P(t)$ и по среднему времени безотказной работы $G_T(t)$ определяется по формулам

$$G_Q(t) = \frac{Q_c(t)}{Q_0(t)}; \quad G_P(t) = \frac{P_c(t)}{P_0(t)}; \quad G_T(t) = \frac{T_c}{T_0}.$$

Надежность простейших резервированных систем проанализируем для параллельного соединения элементов (постоянно включенный резерв). Отказ параллельно работающих генераторов, трансформаторов, ЛЭП, насосов, компрессоров, вентиляторов и т. п. предполагает, что все m элементов находятся в состоянии отказа (простоя) рис. 1).

В соответствии с теоремой умножения вероятностей вероятности отказа

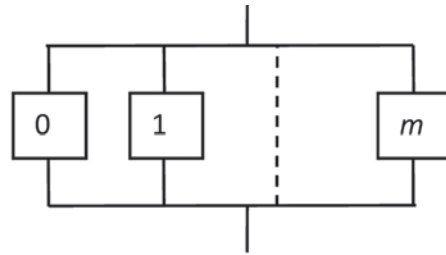


Рис. 1. Параллельное соединение элементов

и ВБР такой системы определяются выражениями

$$Q(t) = \prod_{i=0}^m Q_i(t) = \prod_{i=0}^m [1 - P_i(t)],$$

$$P(t) = 1 - \prod_{i=0}^m [1 - P_i(t)]. \quad (1)$$

В большинстве практических случаев основные и резервные элементы одинаковы и ВБР их работы $p(t)$ равны. Тогда

$$P(t) = 1 - [1 - p(t)]^{m+1} = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}. \quad (2)$$

Для экспоненциальных распределений времени до отказа элементов с одинаковыми параметрами λ интенсивность отказов и среднее время безотказной работы определяются как

$$I(t) = \frac{(m+1) e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}}; \quad (3)$$

$$T_{\text{нб}} = \frac{1}{I} \frac{d}{dk} \frac{1}{k} = T_0 \frac{d}{dk} \frac{1}{k}, \quad (4)$$

где λ – интенсивность отказов элемента;

$T_0 = \frac{1}{\lambda}$ – среднее время безотказной

работы нерезервированной системы;

$k = \frac{m}{r}$ – кратность резервирования –

отношение числа резервных элементов m к числу основных (рабочих) r .

Так как в системах электроэнергетики наиболее часто применяются системы из

двух параллельно включенных цепей (дублирование), формула (4) принимает вид

$$T_{\text{нб}} = \frac{3}{2l}. \quad (5)$$

В случае нагруженного резерва ВБР и $T_{\text{сп}}$ определяются аналогично общему представлению о параллельном соединении элементов по (1), (2), (4).

В случае ненагруженного резерва вводится ряд допущений:

- 1) резервный элемент, находящийся в нерабочем состоянии, абсолютно надежен;
- 2) пребывание элемента в нерабочем состоянии не изменяет его надежности в рабочем состоянии;
- 3) время, в течение которого отказавший элемент заменяется резервным, равно нулю;
- 4) переключающее устройство абсолютно надежно.

В этом случае время работы системы представляет собой сумму m экспоненциальных случайных величин (СВ) с одним и тем же параметром λ . ВБР такой системы записывается в виде

$$P(t) = e^{-\lambda t} \sum_{k=0}^m \frac{(\lambda t)^k}{k!}. \quad (6)$$

Наработка до отказа равна

$$T = T_0(m+1) = \frac{m+1}{l}, \quad (7)$$

где T_0 – наработка до отказа основной (нерезервированной) цепи.

Отметим, что с ростом кратности резервирования среднее время безотказной работы системы растет достаточно медленно. В то же время такой вид резервирования очень эффективен для повышения ВБР.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ПРИ РЕЗЕРВИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ

1. Определим, насколько выше показатели надежности понизительной трансформаторной подстанции 110/10 кВ при постоянной совместной работе обоих

трансформаторов в течение $t = 1$ год по сравнению с однотрансформаторной подстанцией.

Интенсивность отказов: $\lambda_{T1} = \lambda_{T2} = 0,02$ год⁻¹; коммутационные аппараты абсолютно надежны. ВБР и средняя наработка на отказ одного трансформатора в течение года:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = P_1(1) = e^{-0,02 \times 1} = 0,98;$$

$$T_i = \frac{1}{\lambda_T} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ ёа}.$$

ВБР двухтрансформаторной подстанции (1):

$$P_2(1) = 1 - \prod_{i=1}^2 [1 - P_i(1)] = 0,9996.$$

Средняя наработка на отказ двухтрансформаторной подстанции (5):

$$T_{\text{нб}} = \frac{3}{2l_T} = \frac{3}{2 \times 0,02} = 75 \text{ ёа}.$$

Интенсивность отказов двухтрансформаторной подстанции

$$L = \frac{1}{T_{\text{нб}}} = \frac{1}{75} = 0,0133 \text{ год}^{-1}.$$

Итак, для двухтрансформаторной подстанции ВБР увеличилась на 2 %, средняя наработка на отказ – на 50 %, а интенсивность отказов уменьшилась на 50,4 %.

2. Для двух постоянно находящихся в эксплуатации ЛЭП ($m = 1$) с интенсивностью отказов $\lambda = 0,09$ год⁻¹ найдем показатели надежности: ВБР и интенсивность отказов в течение: а) $t = 1$ год и б) $t = 1$ лет и среднее время безотказной работы системы передачи.

В соответствии с (1) и (3) находим:

$$\begin{aligned} P(t=1) &= 1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1} = \\ \text{а) } &= 1 - (1 - e^{-0,09})^2 = 0,99; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l(t) &= \frac{(m+1)\lambda e^{-\lambda t}(1 - e^{-\lambda t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}} = \\ &= \frac{0,18 \times e^{-0,09}(1 - e^{-0,09})}{1 - (1 - e^{-0,09})^2} = 0,0063 \text{ аї а}^{-1}. \end{aligned}$$

8 Системы электроснабжения

$$б) P(t) = 1 - (1 - e^{-0,09 \times 10})^2 = 0,648;$$

$$I(t=10) = \frac{0,18 \times e^{-0,09 \times 10} (1 - e^{-0,09 \times 10})}{1 - (1 - e^{-0,09 \times 10})^2} = 0,066.$$

По (4) среднее время безотказной работы двух постоянно включенных ЛЭП равно:

$$T_{\text{нб}} = \frac{1}{I} \sum_{k=1}^{m+1} \frac{1}{k} = 11,1 \times (1 + 0,5) = 16,65 \text{ ёа}.$$

3. Предположим, что требуется определить кратность резервирования системы релейной защиты с постоянным резервом, обеспечивающей ВБР 0,99 в течение $t = 1$ года. Элементы системы равнонадежны и имеют экспоненциальное распределение со средним временем безотказной работы $T = 10$ лет.

Кратность резервирования определяется по формуле

$$m = \frac{\ln(1 - P_c(t))}{\ln(1 - P(t))} - 1,$$

где $P(t) = e^{-I t}$ – ВБР элемента в течение времени t ;

$I = \frac{1}{T}$ – интенсивность отказа элемента;

$P_{\text{н}}(t) = 0,99$ – ВБР системы релейной защиты в течение времени t .

В течение времени работы системы РЗ $t = 1$ год получим:

$$P(1) = e^{-I t} = e^{-\frac{t}{T}} = e^{-\frac{1}{10}} = 0,905;$$

$$m = \frac{\ln(1 - 0,99)}{\ln(1 - 0,905)} - 1 = \frac{-4,60}{-2,35} - 1 = 0,96.$$

Округляя до целых чисел в большую сторону, принимаем $m = 1$. Таким образом, для достижения заданной надежности в дополнение к основному потребуются еще один дополнительный резервный элемент.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПРИ РЕЗЕРВИРОВАНИИ СЭС С ДРОБНОЙ КРАТНОСТЬЮ

Резервирование в СЭС компрессорных станций и линейных потребителей магистральных газопроводов может быть с дробной кратностью. Обобщенная структура такой системы представлена на рис. 2.

Элементы с номерами $r (1, \dots, 5)$ – основные, с номерами $m (6, \dots, 9)$ – резервные. Общее число элементов $n = m + r$. Параллельное соединение в смысле надежности имеет система из n единиц оборудования, если для нормальной работы необходимы r работоспособных и $m = n - r$ элементов – резервных (рис. 2). Отказ наступает при условии отказа $m + 1$ элементов.

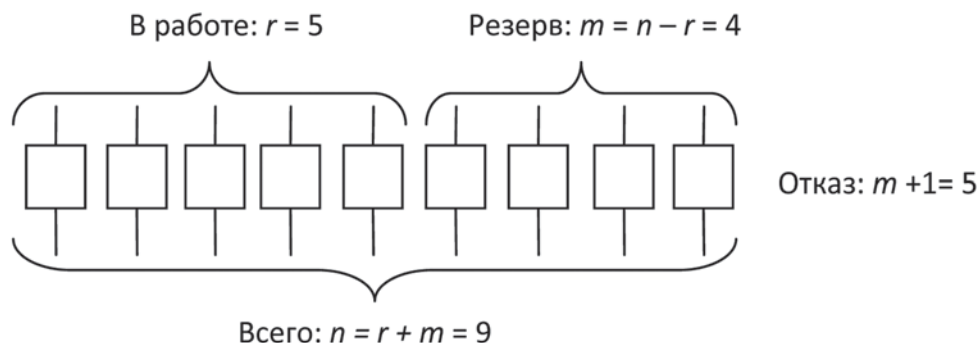


Рис. 2. Резервированная система с постоянно включенным резервом

Пока число резервных элементов превышает или равно числу отказавших, система не отказывает. Условие отказа системы с параллельным соединением элементов:

$$m + 1 = n - r + 1.$$

Отказ $(n - r + 1)$ элементов вызывает отказ системы, если они произошли одновременно. Вероятность отказа системы определяется как вероятность совпадения отказов $(n - r + 1)$ элементов за расчетный период t .

Пусть A_i – событие, состоящее в отказе любых i ($0 \leq i \leq m$) элементов за время t . Тогда $A = \bigcup_{i=0}^m A_i$. Событие A_i произойдет,

если откажут любые i элементов, а остальные $n - i$ останутся работоспособными. Вероятность этого события выражается формулой Бернулли [2, 5]: $P(A_i) = C_n^i Q^i(t) P^{n-i}(t)$.

Тогда ВБР системы с дробным резервированием при условии, что все элементы имеют равную надежность, равна

$$P_{\bar{n}}(t) = P(A) = \sum_{i=0}^m P(A_i) = \sum_{i=0}^m C_n^i Q^i(t) P^{n-i}(t). \quad (8)$$

В частности, при $m = 0$ получаем $P_{\bar{n}}(t) = P^n(t)$; при $m = n - 1$ – резервированную систему, для которой $P_{\bar{n}}(t) = 1 - Q^n(t)$; при $m = 1$ – отказ системы наступает при отказе двух любых элементов

$$P_{\bar{n}}(t) = P^n(t) + nQ(t)P^{n-1}(t).$$

Заметим, что условие взаимонезависимости отказов элементов выполняется в том случае, если при изменении числа находящихся в работе элементов не наблюдается их значительной перегрузки.

Интенсивность отказов такой системы определяется как

$$I_{\bar{n}}(t) = \frac{(n - m) C_n^m Q^m(t) P^{n-m}(t)}{\sum_{i=0}^m C_n^i Q^i(t) P^{n-i}(t)} I(t).$$

Проанализируем надежность системы электроснабжения трех параллельно работающих насосных агрегатов с одинаковыми параметрами $\lambda = 0,5 \text{ год}^{-1}$. Отказ системы наступает при отказе любых двух или трех агрегатов. Имеет место система с дробной кратностью резервирования $k = \frac{1}{2}$: один резервный и два основных

агрегатов. Определим: а) ВБР системы; б) сравним ее с ВБР нерезервированной системы; в) определим среднее время безотказной работы.

а) При $m = 1, n = 3$ по (8) имеем:

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^1 C_3^i Q^i(t) P^{3-i}(t) = P^3(t) + C_3^1 Q(t) P^2(t) = P^3(t) + 3[1 - P(t)]P^2 = 3P^2(t) - 2P^3(t).$$

Для постоянных интенсивностей отказов $P(t) = e^{-\lambda t}$. Тогда

$$P_{\bar{n}}(t) = 3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t} = 3e^{-1} - 2e^{-1,5} = 0,658,$$

б) ВБР нерезервированного агрегата – $P(t) = e^{-0,5} = 0,606$.

Для сравнения ПН резервированной и нерезервированной систем решим неравенство: $P_c(t) > P(t)$, или $3P^2(t) - 2P^3(t) > P(t)$. Отсюда $P(t) > 0,5$.

в) В соответствии с экспоненциальным законом вычислим среднее время безотказной работы системы с дробной кратностью резервирования

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} (3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}) dt = \frac{3}{2\lambda} - \frac{2}{3\lambda} = \frac{5}{6\lambda} = \frac{5}{6 \cdot 0,5} = 1,67 \text{ год},$$

что ниже, чем для нерезервированной системы $T_1 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,5} = 2,0 \text{ год}$.

Таким образом, резервирование с дробной кратностью позволяет повысить надежность системы при условии, что ВБР нерезервированной системы $P(t) > 0,5$. В то же время система с дробной кратностью резервирования $k = 1/2$

10 Системы электроснабжения

имеет среднее время безотказной работы, составляющее приблизительно 83 % от времени безотказной работы нерезервированной системы.

НАДЕЖНОСТЬ СЭС ПРИ РЕЗЕРВИРОВАНИИ С ЗАМЕЩЕНИЕМ

Отказ системы при резервировании замещением (рис. 3) наступает при отказе нулевого элемента, затем первого, второго и т. д., т. е. всех $(m + 1)$ элементов.

Общее время до отказа системы T_{oc} равно сумме времен до отказа всех элементов

$$T_{i\bar{n}} = \sum_{i=0}^m t_{oi}$$

где t_{oi} – длительность работы до отказа i -го элемента.

На практике резервирование замещением осуществляется однотипными элементами, когда основной и резервные элементы равнонадежны. При условии, что интенсивность отказов постоянна, ВБР системы $P_c(t)$ подчиняется закону распределения Эрланга [3–6] с параметрами $a = m + 1$ и $b = \frac{1}{T_0}$:

$$P_{\bar{n}}(t) = \sum_{i=0}^m \frac{(bt)^i}{i!} e^{-bt} \quad (9)$$

Среднее время безотказной работы определяется как

$$T = (m + 1) \frac{1}{b} = (m + 1) T_0, \quad (10)$$

где $T_0 = \frac{1}{b}$ – среднее время безотказной работы основного элемента.

В качестве примера определим: а) ВБР и среднее время безотказной работы системы с резервом замещением кратности $m = 2$ и интенсивностью отказов элементов $\lambda = 0,05$ год⁻¹ и б) сравним эти показатели с показателями надежности систе-

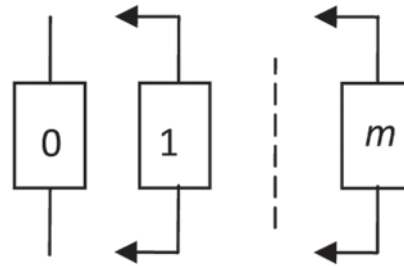


Рис. 3. Схема системы с резервом замещением

мы при постоянно включенном резерве.

а) По формуле (9) при $t = 1$ год получим

$$P_{\bar{n}}(1) = \sum_{i=0}^2 \frac{(1)^i}{i!} e^{-1} = e^{-1} \left(1 + 0,05 + \frac{0,05^2}{2} \right) = 0,9988.$$

Среднее время безотказной работы системы с элементами, резервируемыми замещением по (10): $T = (2 + 1) \frac{1}{0,05} = 60$ лет.

б) Если бы резерв был включен постоянно, то ВБР по (1) составила бы

$$P(1) = 1 - [1 - p(t)]^{m+1} = 1 - (1 - e^{-0,05})^3 = 0,99991,$$

а среднее время безотказной работы:

$$T_{\bar{n}o} = \frac{1}{0,05} \sum_{k=1}^3 \frac{1}{k} = 20 \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right) = 36,7$$
 лет.

НАДЕЖНОСТЬ СЭС ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИИ

Скользящий резерв – тоже резерв замещением, но здесь группа основных элементов резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой из отказавших элементов данной группы (рис. 4).

Сначала работают $n - m$ основных элементов, а m находятся в резерве. При отказе любого основного элемента он заменяется резервным, который начинает выполнять функции основного. При этом

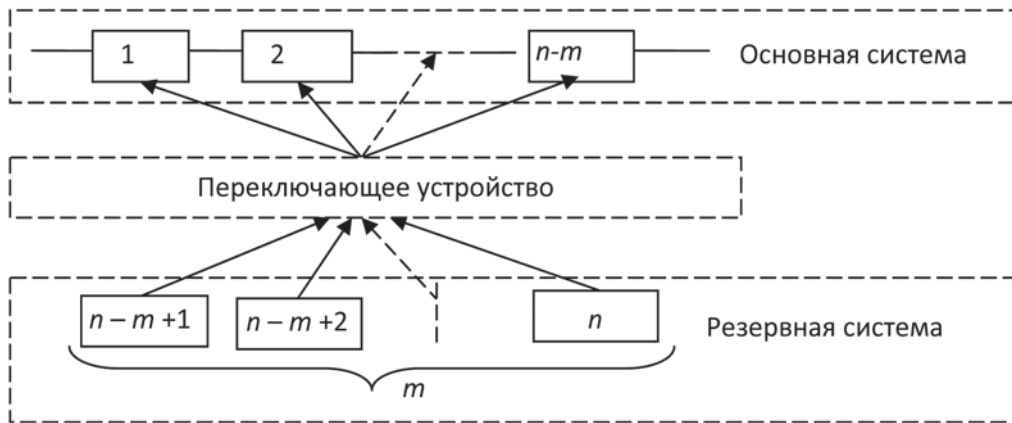


Рис. 4. Схема системы со скользящим резервом

количество резервных элементов уменьшается. Отказ системы наступает, когда будут израсходованы все m резервных элементов и откажет любой из $n - m$ основных.

Система будет работоспособной в течение времени t при отказе не более чем m элементов. При условии экспоненциального распределения вероятностей до отказа каждого элемента, ВБР системы, интенсивность отказов и среднее время безотказной работы определяются как

$$P_{\bar{n}}(t) = \sum_{k=0}^m \frac{((n-m)t)^k}{k!} e^{-(n-m)t}, \quad (11)$$

$$I_{\bar{n}}(t) = (n-m) \sum_{k=0}^m \frac{m!}{k!} \frac{((n-m)t)^k}{k!}, \quad (12)$$

$$T = \frac{m+1}{n-m} T_1, \quad (13)$$

где T_1 – среднее время безотказной работы основного элемента.

Рассмотрим резервированную систему со скользящим резервом, состоящую из 4-х элементов: два основных и два резервных: $n = 4, m = 2$. Время безотказной работы каждого элемента распределено по экспоненциальному закону. $T_{\bar{n}0} = 5$ е.а.д. Найдем ВБР системы в течение одного года работы, интенсивность отказов

и среднее время безотказной работы.

Считаем, что $I = \frac{1}{O_{\bar{n}0}} = 0,2$ год⁻¹. На основании (11), (12) и (13) получим:

$$P_{\bar{n}}(1) = \sum_{k=0}^2 \frac{((4-2) \cdot 0,2)^k}{k!} e^{-(4-2) \cdot 0,2} =$$

$$= (1 + 0,4 + 0,08) e^{-0,4} = 0,9921,$$

$$I_{\bar{n}}(1) = (4-2) \cdot 0,2 \sum_{k=0}^2 \frac{2!}{k!} \frac{((4-2) \cdot 0,2)^k}{k!} =$$

$$= 0,4 \frac{0,08}{(1 + 0,4 + 0,08)} = 0,0216 \text{ а.а.}^{-1};$$

$$T_{\bar{n}} = \frac{2+1}{4-2} 5 = 7,5 \text{ е.а.д.}$$

ВЫВОДЫ

1. Рассмотренные принципы резервирования объектов электроэнергетики, КТП и СЭС позволяют значительно повысить показатели вероятности безотказной работы электрооборудования и электроэнергетических систем в целом.

2. Как показали проведенные расчеты надежности СЭС особо опасных объектов ТЭК при различных принципах резервирования, наилучшие показатели обеспечивают СЭС при резервировании с замещением и при скользящем резервировании.

3. Принятие проектных решений по использованию того или иного принципа

резервирования должно производиться индивидуально по каждому объекту КТП и СЭС, исходя из особенностей проектирования систем электроэнергетики.

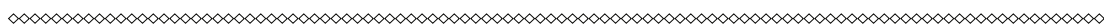
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Концепция** обеспечения надежности в электроэнергетике. – М.: Министерство энергетики РФ, 2011. – 170 с.
2. **Гук Ю.Б.** Теория надежности в электроэнергетике / Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
3. **Пужайло А.Ф. и др.** Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография // Под ред. О.В. Крюкова. – Н.Новгород: Вектор ТИС, 2010. – 570 с.
4. **Киянов Н.В., Крюков О.В.** Решение задач промышленной экологии средствами электрооборудования и АСУ ТП // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 4. – С. 29–34.
5. **Руденко Ю.Н., Чельцов М.Б.** Надежность и резервирование в электроэнергетических системах / Новосибирск: Наука, 1974.
6. **Fedotova G.A.** A Comprehensive Approach to Reliability Optimization of Power Supply to Consumers in Power Interconnection with Weak Tie Lines // E3S Web of Conferences Energy Systems Research. – 2019. – 114, 03008 (2019).
7. **Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В.** Энергетический комплекс // Патент на ПМ 113085, 27.01.2012. Заявка № 2011140276/07 от 04.10.2011.
8. **Воронков В.И., Рубцова И.Е., Крюков О.В.** Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей МГ // Газовая промышленность. – 2010. – № 3. – С. 32–37.
9. **Васенин А.Б., Крюков О.В.** Проектирование электромеханической части и систем управления энергетических установок газотранспортных потребителей // Известия ТГУ. Технические науки. – 2011. – № 5-1. – С. 47–51.
10. **Милов В.Р., Шалашов И.В., Крюков О.В.** Процедуры прогнозирования и принятия решений в системе технического обслуживания и ремонта // Автоматизация в промышленности. – 2010. – № 8. – С. 47–49.
11. **Васенин А.Б., Крюков О.В.** Энергоэффективные и экологичные установки воздушного охлаждения // В сборнике: ВЕЛИКИЕ РЕКИ' 2017. – Труды научного конгресса XIX МНПФ. НГАСУ. – 2017. – С. 93–96.
12. **Крюков О.В., Степанов С.Е.** Модернизация систем управления ЭГПА в условиях действующих компрессорных станций // В сборнике: Проблемы автоматизации и управления в технических системах. МНТК под ред. М.А. Щербакова, 2013. – С. 29–32.
13. **Vasenin A.B., Kryukov O.V., Serebryakov A.V.** Adaptive control algorithms of autonomous generator complexes // В книге: Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты. – Труды МКЭЭЭ-2016, 2016. – С. 133–135.
14. **Крюков О.В., Серебряков А.В.** Активно-адаптивные алгоритмы управления и мониторинга автономными энергетическими комплексами // В сборнике: Пром-Инжиниринг. – Труды II МНТК. ЮУрГУ, 2016. – С. 286–290.
15. **Крюков О.В., Степанов С.Е., Серебряков А.В.** Современный подход к организации ремонта по данным прогноза технического состояния и ресурса электрооборудования // Газовая промышленность. – 2017. – № 8 (756). – С. 84–89.
16. **Kryukov O.V., Gulyaev I.V., Terplukhov D.Y.** Method for stabilizing the operation of synchronous machines using a virtual load sensor // Russian Electrical Engineering. – 2019. – V. 90. – N 7. – P. 473-478.
17. **Крюков О.В.** Мониторинг условий эксплуатации электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Контроль. Диагностика. – 2016. – № 12. – С. 50–58.
18. **Kryukov O.V.** Electric drive systems in compressor stations with

stochastic perturbations // Russian Electrical Engineering. – 2013. – No. 3. – V. 84. – P. 135-138.

19. **Мещеряков В.Н., Ласточкин Д.В., Крюков О.В.** Приложения теории нечетких множеств для обработки данных и задач прогнозирования в системах АЭП // В сборнике: Современные сложные системы управления. – Материалы XII МНПК, 2017. – С. 153–158.

20. **Belousov A.S., Meshcheryakov V.N., Valtchev S., Kryukov O.V.** Development of a control algorithm for three-phase inverter in two-phase electric drives reducing the number of commutations // В сборнике: Proceedings-2019. 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, 2019. – С. 444–449.



ЛУЧШИЕ ИДЕИ. ЛУЧШИЙ ОПЫТ

gd.panor.ru

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ



На правах рекламы

Журнал «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» освещает актуальные вопросы управления производством, практический опыт лучших российских и зарубежных предприятий.

Отличительная особенность журнала «Генеральный директор. Управление промышленным предприятием» — практическая направленность и прикладной характер публикуемых материалов, их нацеленность на решение конкретных вопросов, возникающих в процессе управления промышленным предприятием.

Наши эксперты и авторы: **Адлер Ю.П.**, президент Международной гильдии профессионалов качества; **Бережной А.А.**, гендиректор компании ЗАО «Ральф Рингер»; **Быков В.А.**, профессор РАНХиГС; **Верещагин В.В.**, президент общества «РусРиск»; **Гутенев В.В.**, Первый зампреда Комитета ГД РФ по промышленности, Первый вице-президент Союза машиностроителей России; **Емельянова Е.Л.**, президент Ассоциации межрегиональных маркетинговых центров; **Жданкин Н.А.**, д-р техн. наук, академик РАЕН, профессор НИТУ «МИСиС», президент ООО «РЕГУЛ-КОНСАЛТ»; **Кушнарев А.В.**, управляющий директор ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат»; **Москаленко К.А.**, президент Академии общественно-экономических наук и предпринимательской деятельности, академик; **Поляков И.В.**, гендиректор Омского производственного объединения «Радиозавод им. А.С. Попова»; **Спири-**

чев В.А. гендиректор ЗАО «Валетек»; **Фролов Е.Б.**, д-р техн. наук, профессор МГТУ «СТАНКИН»; **Юрьев А.Б.**, управляющий директор Новокузнецкого металлургического комбината, а также руководители министерств и ведомств, руководители комитетов ТПП РФ и РСПП, Комитета ГД РФ по экономической политике и предпринимательству, ведущие эксперты в области управления, технической политике, финансов, экономической безопасности.

Журнал издается при информационной поддержке РСПП, ТПП РФ, Института статистических исследований и экономики знаний ГУ-ВШЭ, Русского общества управления рисками.

Ежемесячное полноцветное издание.

Распространяется по подписке и на отраслевых мероприятиях.

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ

- Менеджмент инноваций
- Техническая политика
- Антикризисное управление
- Управление финансами
- Стратегический менеджмент
- Управление качеством
- Экономическая безопасность
- Риск-менеджмент
- Арбитражная практика
- Зарубежный опыт
- Нормирование, организация и оплата труда
- Психология управления

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ



82714



П7310

Для оформления подписки через редакцию пришлите заявку в произвольной форме по адресу электронной почты podpiska@panor.ru или позвоните по тел. 8 (495) 274-22-22 (многоканальный).