

7. Половко, А.М. Основы теории надежности. – / А.М.Половко, С.В. Гуров//СПб.: ВНУ, 2006. – 704 с.
8. Бондарь, Ю.В. Об одном методе оптимального использования алгоритмической избыточности/Ю.В. Бондарь, И.В.Сафонов //Автоматика и вычислительная техника. – 1975. – № 3. – С. 26-29. Пивоваров, А.Н. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
9. Губинский, А.И., Евграфов, В.Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. Л.: Судостроение, 1977. – 224 с.
10. Зингер, Н.С. Обеспечение достоверности данных в автоматизированных системах управления производством/ Н.С. Зингер, И.В. Куцык// – М.: Наука, 1974. – 136 с.
10. Пивоваров, А.Н. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
11. Ротштейн, А.П. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент-ПРИМ, – 1997. – 142 с.
12. Юрков, Н.К. К проблеме обеспечения глобальной безопасности: Труды международного симпозиума Надежность и качество/Н.К.Юрков//Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, – 2012. – Том 1, – С. 6-8
13. Вигман, В.А. Стохастические модели контроля/В.А. Вигман//Управляющие системы и машины. – 1973. – № 2. – С. 112 – 115.
14. Юрков, Н.К. Оценка безопасности сложных технических систем/Н.К.Юрков//Надежность и качество сложных систем. – 2013, – № 2. – С. 15-21.

УДК 621.396.6

Жаднов В.В.

Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», Москва, Россия

**МОДЕЛЬ МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ЕГО НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СМЕШАННОМ РЕЗЕРВИРОВАНИИ ЕГО КАНАЛОВ**

Рассмотрены вопросы формирования наработки до отказа многоканального преобразователя напряжения с магистрально-модульной архитектурой и смешанным резервированием его силовых каналов типа «N+1+K» при статистическом моделировании. Предложена формальная модель преобразователя со смешанным резервированием, которая позволяет получить реализацию наработки преобразователя с учетом отказов каналов в режимах работы и ожидания, а также отказов резервных каналов при их подключении. Разработанная модель создана в рамках допущений и ограничений, принятых в действующих нормативных документах. Показана возможность сокращения вычислительных затрат при применении этой модели при статистическом моделировании.

**Ключевые слова:**

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, СИЛОВОЙ КАНАЛ, НАДЕЖНОСТЬ, РЕЗЕРВИРОВАНИЕ, НАРАБОТКА НА ОТКАЗ, СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Введение

При проектировании изделий силовой электроники одной из задач является обеспечение требуемого уровня их надежности. Наряду с различными способами построения изделий силовой электроники, одним из наиболее часто применяемых в практике проектирования методов обеспечения требуемого уровня их безотказности, является резервирование. Так, в [1] показано, что для достижения высоких значений показателей безотказности многоканальные преобразователи напряжения должны быть выполнены на основе магистрально-модульной архитектуры, которая позволяет реализовать смешанное резервирование их силовых каналов (резервирование «N+1+K»).

На ранних этапах проектирования многоканальных преобразователей напряжения для оценки их показателей безотказности используются расчетные методы и программное обеспечение [2. 3]. Очевидно, что чем точнее будет расчетная оценка этих показателей, тем больше вероятность того, что созданный образец будет удовлетворять требованиям. Однако на практике часто ограничиваются получением «нижних» оценок показателей безотказности, что связано с ограничениями, присутствующими аналитическим методом [4].

В то же время, универсальным методом расчета показателей надежности электронных средств является метод статистического моделирования [5]. Этот метод применяется, в основном, для расчета показателей типа «наработка» (метод численного интегрирования). Для практической реализации этого метода созданы программные средства для имитационного моделирования, имеющие универсальные языки описания формальной модели, что позволяет существенно упростить создание программной модели, т.к. она генерируется автоматически [6-8]. Однако эти языки имеют ряд ограничений, например, в части возможности описания изменения параметров структурной схемы надежности (ССН) изделия при отказах составных частей, причем это относится не только к универсальным, но и специализированным языкам [9].

Поэтому при имитационном моделировании наработок изделий с «не типовыми» способами резервирования (в данном случае со смешанным резер-

вированием «N+1+K»), имеющими специфические особенности, программную модель приходится создавать «вручную» на основе формальной модели.

Основная часть

На рис. 1 показана магистрально-модульная архитектура силовой части многоканального преобразователя напряжения с резервированием «N из M», приведенная в [1].

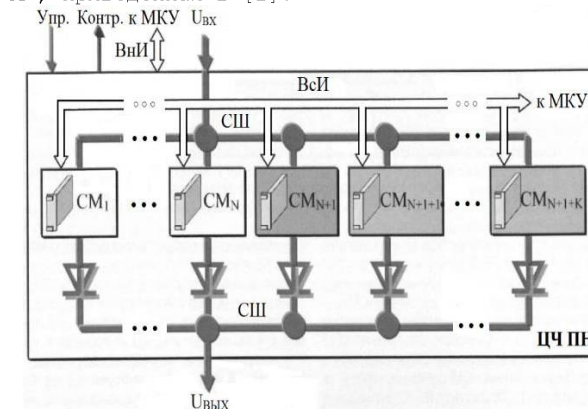


Рисунок 1 - Силовая часть преобразователя напряжения со скользящим нагруженным резервированием

Как видно из рис. 1 силовая часть преобразователя напряжения (СЧ ПН) содержит резервирование N основных силовых модулей (СМ<sub>1</sub>-СМ<sub>N</sub>), находящимся во включенном состоянии и K+1 резервными модулями (СМ<sub>N+1</sub>-СМ<sub>N+1+K</sub>), находящимися в отключенном состоянии (M=N+K+1). Рассмотрим расчет надежности для такого способа резервирования (скользящее ненагруженное резервирование «M из N») по структурной схеме надежности (ССН), которая показана на рис. 2.

Методики расчета надежности аппаратуры по ССН приведены в стандарте [10]. Вероятность безотказной работы для ССН, показанной на рис. 2 определяются по формуле:

$$P(t) = \frac{\prod_{i=1}^{M-N} (N+j\alpha)}{\alpha^{(M-N)} \cdot (M-N)!} \cdot \sum_{i=0}^{M-N} (-1)^i \cdot \frac{C_{M-N}^i}{N+j\alpha} \cdot (e^{-\lambda t})^{(N+j\alpha)}, \quad (1)$$

где C<sub>M</sub><sup>i</sup> - число сочетаний; λ - интенсивность отказов элемента нагруженном режиме; α=λ<sub>0E</sub>/λ; λ<sub>0E</sub> -

интенсивность отказов элемента в облегченном режиме;  $t$  – время;  $N$  – количество основных элементов;  $M$  – общее число элементов.

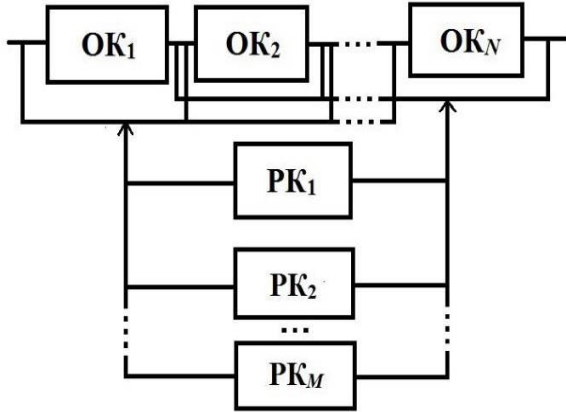


Рисунок 2 – Структурная схема надежности силовых каналов магистрально-модульного многоканального преобразователя напряжения

Заметим, что в методике расчета по ССН группы резервирования « $N$  из  $M$ », приведенной в стандарте вероятности безотказного включения резервного элемента ( $P_{\text{вкл}}$ ) принята равной 1. Если известно значение  $P_{\text{вкл}}$ , то в этом случае формулу (1) можно представить в виде:

$$P = P(t) \cdot (P_{\text{вкл}})^{(M-N)}, \quad (2)$$

где  $P$  – вероятность безотказной работы с  $P_{\text{вкл}}$ .

Кроме того, из (1) следует, что:

$$(e^{-\lambda t})^{(N+j)\alpha} = e^{-N\lambda t} \cdot e^{-j\lambda_{\text{ор}} t} = p^N \cdot (P_{\text{ор}})^j \quad (3)$$

Как видно из (3) в методике расчета по ССН группы резервирования « $N$  из  $M$ », приведенной в стандарте [10], вероятности безотказной работы в режиме ожидания ( $P_{\text{ож}}$ ) для каждого элемента ССН принимаются постоянными (не зависят от времен отказов основных элементов), что приводит к «нижней» оценке значения  $P$ .

В отличие от аналитических методов, метод статистического моделирования позволяет учитывать влияние времен отказов основных элементов на изменение характеристик надежности резервных при отказах.

Рассмотрим модель расчета вероятности безотказной работы для модели эксплуатации элемента «ожидание»-«работа»:

$$P(t) = P(t_{\text{ор}}) \cdot P(t_{\text{нр}}) = e^{-\lambda_{\text{ор}} t_{\text{ор}}} \cdot e^{-\lambda_{\text{нр}} t_{\text{нр}}} = e^{-(\alpha \lambda_{\text{нр}} t_{\text{ор}} + \lambda_{\text{нр}} t_{\text{нр}})} \Rightarrow t = \alpha \cdot t_{\text{ор}} + t_{\text{нр}}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\text{ор}}$ ,  $\lambda_{\text{нр}}$  – интенсивности отказов элемента в облегченном и нагруженном режимах;  $\alpha = \lambda_{\text{ор}} / \lambda_{\text{нр}}$ ;  $t_{\text{ор}}$ ,  $t_{\text{нр}}$  – время работы элемента в облегченном и нагруженном режимах;  $t = (t_{\text{ор}} + t_{\text{нр}})$ .

Для экспоненциальной модели отказов значение реализации наработки элемента ( $\hat{t}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\hat{t} = -\frac{\ln(x)}{\lambda} \Rightarrow \hat{t}_{\text{ож}} = -\frac{\ln(x)}{\lambda_{\text{ож}}} = \frac{\hat{t}}{\alpha}, \quad (5)$$

где  $\hat{t}$ ,  $\hat{t}_{\text{ож}}$  – реализации наработки элемента в режимах работы (нагруженном) и ожидания (облегченном);  $\lambda$ ,  $\lambda_{\text{ож}}$  – интенсивности отказов элемента в режимах работы и ожидания;  $x$  – реализация БСВ.

Из (4) и (5) следует, что реализация наработки резервного элемента ( $\hat{t}_p$ ), который в течении времени  $t_{\text{ож}}$  находился в режиме ожидания будет равна:

$$\hat{t}_p = \begin{cases} t_{\text{ож}} + \hat{t} - t_{\text{ож}} \cdot \alpha & \text{при } t_{\text{ож}} \cdot \alpha < \hat{t} \\ \hat{t} & \text{при } t_{\text{ож}} \cdot \alpha \geq \hat{t} \end{cases}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{ож}} \cdot \alpha \geq \hat{t}$  – условие отказа резервного элемента в режиме ожидания за время  $t_{\text{ож}}$ .

Значения  $\hat{t}$  используется для расчета реализации наработки резервированной группы ( $\hat{t}_{\text{гп}}$ ), а именно:

1. По формуле (5) рассчитываются реализации наработок элементов ( $\hat{t}_m$ ) группы и формируется массив  $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_M$  ( $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_N$  – основные элементы;  $\hat{t}_{(M-N+1)}, \hat{t}_{(M-N+2)}, \dots, \hat{t}_M$  – резервные);

2. По формуле (5) рассчитываются реализации наработок элементов ( $\hat{t}_m$ ) группы и формируется массив  $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_M$  ( $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_N$  – основные элементы;  $\hat{t}_{(M-N+1)}, \hat{t}_{(M-N+2)}, \dots, \hat{t}_M$  – резервные);

2. Определяется минимальное значение в массиве  $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_N$ :

$$\hat{t}_l = \min_{n=1..N} (\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_n, \dots, \hat{t}_{N-1}, \hat{t}_N), \quad (7)$$

где  $l$  – номер элемента с минимальной наработкой.

3. Рассчитываются реализации наработки группы с учетом 1-го резервного элемента:

$$\hat{t}_{P(M-N+1)} = \begin{cases} \hat{t}_l + \hat{t}_{(M-N+1)} - \hat{t}_l \cdot \alpha & \text{при } \hat{t}_l \cdot \alpha < \hat{t}_{(M-N+1)}, \\ \hat{t}_l & \text{при } \hat{t}_l \cdot \alpha \geq \hat{t}_{(M-N+1)} \end{cases}, \quad (8)$$

4. Значение  $\hat{t}_{P(M-N+1)}$  присваивается тому элементу массива  $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_N$ , который содержал значение  $\hat{t}_l$ .

5. Повторяются п.п. 2-4 для расчета реализации наработки группы с учетом 2, 3, ..., (M-N) резервного элемента.

6. Определяется реализация наработки резервированной группы по формуле (7) –  $\hat{t}_{\text{гп}} = \hat{t}_l$ .

Учет отказов резервных каналов при их включении в расчете  $\hat{t}_p$  не представляет особых трудностей, т.к. для этого достаточно в массиве  $\hat{t}_{(M-N+1)}, \hat{t}_{(M-N+2)}, \dots, \hat{t}_M$  «обнулить» реализации наработок каналов, для которых выполняется условие:

$$y_i > P_{\text{вкл}}, \quad (9)$$

где  $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_{(M-N)}$  – реализации БСВ.

Заметим, что для сокращения вычислительных затрат можно просто исключить эти элементы из числа резервных, тем самым сократив общее число элементов резервированной группы, для которых рассчитываются  $\hat{t}$  [13].

Приведенные выше соотношения (5)-(9) будут использованы для разработки формальной модели наработки преобразователя напряжения со смешанным резервированием его силовых каналов типа « $N+1+K$ ».

Особенность этого способа резервирования СЧ ПН состоит в том, что подключение резервного канала (PK), находящегося в отключенном состоянии происходит не только в случае отказа одного из основных каналов (OK), но и при отказе резервного канала (PK<sub>1</sub>), находящегося во включенном состоянии (см. рис. 1).

Такое подключение резервных каналов обусловлено необходимостью обеспечения требуемого качества электроснабжения потребителей при отказах основных каналов [1].

ССН преобразователя в этом случае состоит из группы «скользящее нагруженное резервирование  $N$  из  $M+1$ », элементы которой резервируются  $K$  элементами, находящимися в режиме ожидания (см. рис. 3).

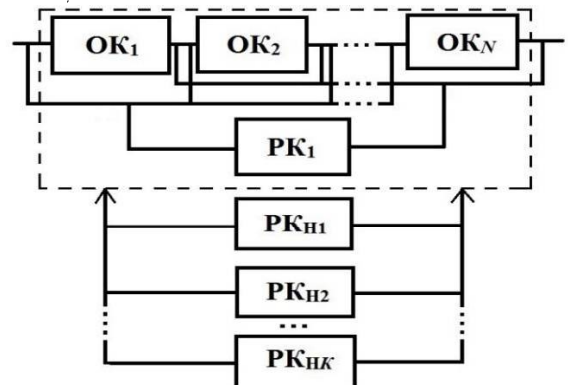


Рисунок 3 – Структурная схема надежности силовых каналов магистрально-модульного многоканального со смешанным резервированием типа « $N+1+K$ »

Еще одной особенностью такого резервирования СЧ ПН является зависимость интенсивностей отказов ее каналов от нагрузки преобразователя [12, 13].

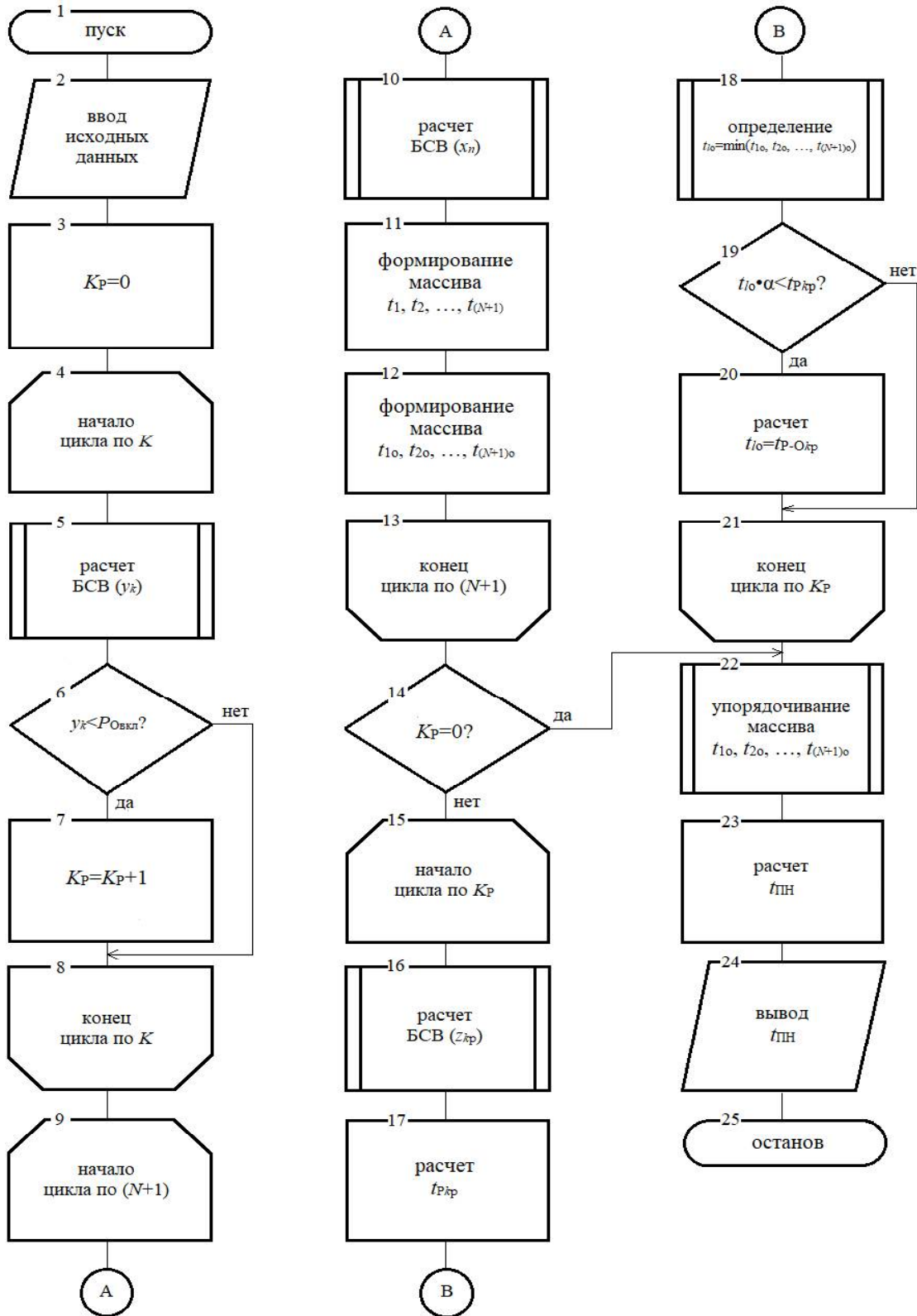


Рисунок 4 – Алгоритм расчета реализации наработки преобразователя напряжения

До тех пор, пока число работоспособных каналов будет не меньше, чем  $(N+1)$ , мощность, которую находящийся в режиме работы канал отдает в нагрузку ( $P_{ск}$ ), будет равна [14]:

$$P_{ск0} = \frac{N}{N+1} \cdot P_{скном} \quad (10)$$

где  $P_{скном}$  – номинальная мощность канала.

Тогда для этой мощности можно рассчитать интенсивность отказов каналов ( $\lambda_{ск0}$ ) по методике стандарта [10] и определить значение коэффициента  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\lambda_{ск0}}{\lambda_{скном}} \quad (11)$$

где  $\lambda_{скном}$  – интенсивность отказов канала при номинальной нагрузке.

С учетом вышеизложенного расчет реализации наработки ( $\hat{t}_{гр}$ ) такой резервированной группы проводится следующим образом:

1. По формуле (11) рассчитывается значение коэффициента  $\beta$ .

2. По формуле (9) определяются номера ненагруженных резервных каналов, которые откажут при включении (исключают эти каналы из числа резервных) и вычисляют новое значение  $K_p$ :

$$K_p = K - k_0 \quad (12)$$

где  $k_0$  – количество отказов резервных каналов при подключении.

3. По формуле (5) для  $L_{СЧном}$  рассчитываются реализации наработок каналов  $\{\hat{t}_m\}$  СЧ ПН и формируются массивы  $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_{(N+1)}$  и  $\hat{t}_{P_1}, \hat{t}_{P_2}, \dots, \hat{t}_{P_K}$ .

4. Используя массив  $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_{(N+1)}$  и формулу (11) рассчитываются реализации наработок каналов  $\{\hat{t}_{m_0}\}$ , находящихся в режиме работы, и формируется массив  $\hat{t}_{1_0}, \hat{t}_{2_0}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_0}$ :

$$\hat{t}_{m_0} = \frac{\hat{t}_m}{\beta}. \quad (13)$$

5. По формуле (7) определяется минимальное значение в массиве  $\hat{t}_{1_0}, \hat{t}_{2_0}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_0}$  -  $\hat{t}_{i_0}$  (1 - номер канала с минимальной наработкой).

6. Рассчитываются реализации наработки СЧ ПН с учетом 1 резервного канала:

$$\hat{t}_{P_0-0_1} = \begin{cases} \hat{t}_{i_0} + \frac{\hat{t}_{P_1}}{\beta} - \hat{t}_{i_0} \cdot \alpha & \text{при } \hat{t}_{i_0} \cdot \alpha < \hat{t}_{P_1}, \\ \hat{t}_{i_0} & \text{при } \hat{t}_{i_0} \cdot \alpha \geq \hat{t}_{P_1} \end{cases}, \quad (14)$$

7. Значение  $\hat{t}_{P_0-0_1}$  присваивается тому элементу массива  $\hat{t}_{1_0}, \hat{t}_{2_0}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_0}$ , который содержал значение  $\hat{t}_{i_0}$ .

8. Повторяются п.п. 5-7 для расчета реализации наработки СЧ ПН с учетом 2, 3, ...,  $K$ -го резервного канала.

9. Итоговый массив  $\hat{t}_{1_0}, \hat{t}_{2_0}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_0}$  упорядочивается в порядке возрастания и формируется массив  $\hat{t}_{1_y}, \hat{t}_{2_y}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_y}$ .

10. Определяется реализация наработки ( $\hat{t}_{ПН}$ ) СЧ ПН с учетом изменения нагрузки каналов:

$$\hat{t}_{ПН} = \hat{t}_{1_y} + (\hat{t}_{2_y} - \hat{t}_{1_y}) \cdot \beta, \quad (15)$$

где  $\hat{t}_{1_y}, \hat{t}_{2_y}$  - реализации наработок.

Таким образом приведенные выше соотношения можно рассматривать как формальную модель СЧ ПН со смешанным резервированием силовых каналов типа «N+1+K».

Для создания программной модели (программного модуля) можно использовать алгоритм расчета  $\hat{t}_{ПН}$ , показанный на рис. 4.

осуществляется запуск модуля по команде из программы имитационного моделирования и вводятся параметры формальной модели (N, K, Л, и ). В Блоках 3-

8 определяются резервные каналы, которые отка-

В Блоках 9-13 рассчитываются элементы массива  $\hat{t}_1, \hat{t}_2, \dots, \hat{t}_{(N+1)}$  по формуле (5) и элементы массива  $\hat{t}_{1_0}, \hat{t}_{2_0}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_0}$  по формуле (13). В Блоке 14 осуществляется проверка наличия резервных каналов в режиме ожидания. В Блоках 15-21 рассчитываются наработки резервных каналов, находящихся в режиме ожидания, и формируется массив  $\hat{t}_{1_0}, \hat{t}_{2_0}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_0}$ . В Блоке 22 элементы массива  $\hat{t}_{1_0}, \hat{t}_{2_0}, \dots, \hat{t}_{(N+1)_0}$  упорядочиваются в порядке . Блок 16 вы-

, а Блок 17 осуществляет завершение работы модуля и передает управление в программу имитационного моделирования [15].

Заключение

Таким образом, модель (15) позволяет проводить расчеты показателей безотказности резервированных многоканальных преобразователей (смешанное резервирование «N+1+K») с учетом изменения характеристик надежности их силовых каналов резервных каналов в режиме ожидания и отказов этих каналов при их подключении.

Вместе с тем следует отметить, что эффект от применения этой модели может быть получен только в том случае, если для силовых каналов существует возможность расчета  $L_{СЧ}$  (т.е. имеются исходные данные). На практике нередко такие данные отсутствуют, т.к. часто в качестве СК применяют готовые модули, для которых в ТУ приводятся характеристики надежности только для типовых (номинальных) режимов.

Кроме того, приведенная выше модель, как и любые другие модели, справедлива в рамках приведенных выше ограничений (экспоненциальная модель отказов каналов, точность расчета их интенсивностей отказов и др.). Поэтому результаты расчета показателей безотказности преобразователей, полученных с ее помощью, должны корректироваться по результатам испытаний и подконтрольной эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Либенко Ю.Н., Четин А.Н. Пути повышения безотказности систем вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. // Электропитание. - 2010. - № 4. - с. 10-21.
2. Коваленко Г.Л., Кофанов Ю.Н., Жаднов В.В. Применение автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры для проектных исследований безотказности ИВЭП. // Электронная техника. Серия: Радиодетали и компоненты. - 1990. - № 2(79). - с. 42-44.
3. Жаднов В.В. Автоматизация исследований безотказности источников вторичного электропитания. // Надежность и качество-2012: труды Международного симпозиума: в 2-х т. / Под ред. Н. К. Юркова. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2012 - 2 т. - с. 173-176.
4. Жаднов В.В., Жаднов И.В., Полесский С.Н. Современные проблемы автоматизации расчётов надёжности. // Надёжность. - 2007. - № 2. - с. 3-12.
5. ГОСТ 27.301-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.
6. Т. Шрайбер. Моделирование на GPSS. - М.: Машиностроение, 1980. - 592 с.
7. Боев В.Д. Моделирование в среде AnyLogic: учеб. пособие для вузов М.: Издательство Юрайт, 2018. - 298 с. - (Серия: Бакалавр. Прикладной курс).
8. Альсова О.К. Имитационное моделирование систем в среде ExtendSim: учеб. пособие для академического бакалавриата. - 2-е изд. - М.: Издательство Юрайт, 2018. - 115 с. - (Серия: Бакалавр. Академический курс).
9. Жаднов В.В., Тихменев А.Н. Имитационное моделирование в задачах оценки надежности отказоустойчивых электронных средств. // Надёжность. - 2013. - № 1. - с. 32-43.
10. ОСТ 4Г 0.012.242-84. Отраслевой стандарт. Аппаратура радиоэлектронная. Методика расчета показателей надежности.
11. Надёжность ЭРИ: Справочник. - М.: МО РФ, 2006. - 641 с.
12. Жаднов В.В. Модель преобразователя напряжения с ротацией силовых каналов для расчета его наработки до отказа при статистическом моделировании. // Труды Международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. - Т. 1. - Пенза: Издательство ПГУ, 2019. - с. 18-23.
13. Лукина А.С., Целищев И.С. Учет отказов при ротации каналов в магистрально-модульных преобразователях напряжения. // Технологии информационного общества. Сборник трудов XIV Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного общества». (18-19 марта 2020 г. Москва, МТУСИ). - М.: ИД Медиа Паблшер, 2020. - с. 287-289.
14. V.V. Zhadnov. Model of Voltage Converter with Redundancy of Power Channels for Calculation of Its Operating Time in Statistical Modeling. // Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific-practical conference / Ed. by S.U. Uvaysov, I. Ivanov. - M.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2020. - p. 431-435.
15. A.S. Lukina, I.S. Tselishev. Development of a Software Model of Redundancy with Rotation for a Multi-Channel Voltage Converter. // Information Innovative Technologies: Materials of the International scientific-practical conference / Ed. by S.U. Uvaysov, I. Ivanov. - M.: Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2020. - p. 99-106.