

УДК 621.383/4

Аналитическая модель вероятности безотказной работы многорядного МФПУ

А. И. Патрашин, И. Д. Бурлаков, Г. А. Иванов

С помощью теории вероятности и теории надежности устройств разработана аналитическая модель, описывающая вероятность безотказной работы многорядного матричного фотоприёмного устройства (МФПУ), включающего B фотоприёмных модулей (ФПМ) формата $M \times N$ с учётом критериев годности устройства. Эти критерии описываются средним временем безотказной работы одного фоточувствительного элемента (ФЧЭ), максимальным количеством дефектных ФЧЭ в канале, максимальным числом неработоспособных каналов ФПМ и общим количеством ФПМ. Режим работы устройства — режим с экспоненциальной моделью отказов ФЧЭ, в котором сигнал МФПУ является средним сигналом или максимальным из сигналов работоспособных ФЧЭ в канале. На основе модели выполнены расчёты зависимостей вероятности безотказной работы МФПУ, включающего B ФПМ, ФПМ с N каналами, L из которых неработоспособны и отсутствуют соседние неработоспособные каналы, и канала из M ФЧЭ с K неработоспособными ФЧЭ, соответственно, при $B = 10, 8, 6, 4$; $N = 1024, 640, 480, 288$; $L = 5, 3, 2, 1$; $M = 16, 10, 8, 4$; $K = 15, 9, 7, 3$.

PACS: 07.57.Kp, 85.25.Pb, 85.60.Gz

Ключевые слова: МФПУ, ФПМ, ФЧЭ, надёжность, вероятность безотказной работы, среднее время безотказной работы.

Введение

Вероятность безотказной работы и среднее время безотказной работы [1] являются важными параметрами, описывающими такое понятие надёжности, как безотказность матричного фотоприёмного устройства (МФПУ). Безотказность — свойство МФПУ непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Нарботка — продолжительность непрерывной работы МФПУ до наступления отказа или предельного состояния, после наступления которого полноценная работа устройства невозможна.

Наряду с этим требованием к МФПУ предъявляются требования к величине фотоэлектричес-

ких параметров и требования к возможному количеству дефектных или неработоспособных каналов, годных в МФПУ в течение наработки.

Каждое многорядное МФПУ включает матрицу фоточувствительных элементов (МФЧЭ) заданного формата, скоммутированную поэлементно с БИС-мультиплексором. Надёжность МФПУ определяется, в первую очередь, надёжностью самого слабого компонента. В ИК МФПУ этим компонентом является МФЧЭ, надёжность которой на один или два порядка ниже надёжности БИС-мультиплексора [2].

Аналитическому расчету зависимости вероятности безотказной работы от времени наработки многорядного МФПУ посвящена данная работа.

Постановка задачи

Рассмотрим многорядное МФПУ, включающее B фотоприёмных модулей (ФПМ) формата $M \times N$. Каждый из N каналов такого ФПМ содержит M фоточувствительных элементов (ФЧЭ). Фоточувствительные площадки крайних ФЧЭ в соседних модулях перекрываются, как показано на рис. 1.

МФПУ считается работоспособным, пока работоспособны все B ФПМ, входящие в его состав.

ФПМ считается работоспособным, пока работоспособны $N_1 = N - L$ его каналов ($L < N$) и отсутствуют соседние неработоспособные каналы.

Патрашин Александр Иванович, вед. научн. сотрудник¹.

Бурлаков Игорь Дмитриевич, зам. генерального директора¹, профессор².

Иванов Георгий Александрович, ведущий специалист¹.

¹ОАО «НПО «Орион»».

Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.

Тел. 8 (499) 374-81-30.

E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский институт радиотехники, электроники и автоматики (Технический университет МИРЭА).

Россия, 119454, Москва, пр-т Вернадского, 78.

Статья поступила в редакцию 25 августа 2014 г

© Патрашин А. И., Бурлаков И. Д., Иванов Г. А., 2014

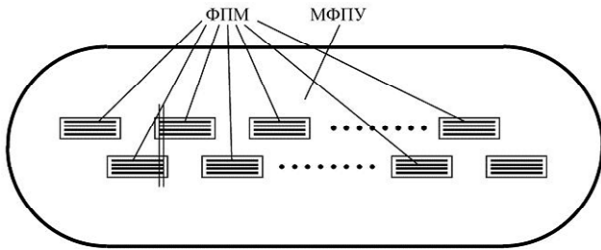


Рис. 1. Схема многорядного МФПУ

Канал считается работоспособным, пока работоспособны $M_1 = M - K$ ($K < M$) ФЧЭ в канале.

ФЧЭ считается работоспособным, пока заданный пороговый параметр $S(t)$, характеризующий пороговую фоточувствительность ФЧЭ (удельная обнаружительная способность, пороговая облучённость, пороговая мощность, эквивалентная шуму разность температур), не станет равным заданной величине S_1 [3].

Сигнал канала (в зависимости от организации работы БИС-мультиплексора) — это временная задержка и накопление (ВЗН), или средний сигнал по работоспособным ФЧЭ в канале, или максимальный из сигналов работоспособных ФЧЭ в канале [4].

В силу указанных условий, величина наработки многорядного МФПУ при высоких значениях вероятности безотказной работы должна существенно увеличиться в сравнении с линейным ФПУ формата $1 \times N$ при условии идентичности ФЧЭ.

Каждый ФЧЭ, канал, ФПМ или МФПУ может находиться в работоспособном (A) состоянии или неработоспособном (\bar{A} , отказ) состоянии. Вероятности этих состояний считаются известными и одинаковыми для всех ФЧЭ. Отказы всех элементов устройства рассматриваются как случайные события, независимые в совокупности.

МФПУ организовано по иерархическому принципу: первый уровень иерархии — это ФЧЭ; второй — канал, состоящий из заданного количества ФЧЭ; третий — фотоприёмный модуль (ФПМ), включающий заданное число каналов; четвертый — МФПУ, состоящее из заданного количества ФПМ.

Из независимости отказов ФЧЭ следует независимость отказов всех устройств более высокого уровня (каналов, ФПМ и ФПУ) [5]. При этом расчет вероятности безотказной работы устройства более высокого иерархического уровня требует решения комбинаторной задачи [6], соответствующей заданному критерию отказа (число отказавших ФЧЭ, каналов и модулей) и знания вероятностей состояния устройства предыдущего иерархического уровня. В результате, последовательно, исходя из известных вероятностей для ФЧЭ, рассчитываются вероятности для устройств последующих уровней. Подстрочный индекс при вероятностях во всех выражениях соответствует

уровню иерархии: индекс 1 относим к ФЧЭ, индекс 2 — к каналу ФПМ, индекс 3 — к ФПМ, индекс 4 — к ФПУ.

Анализ вероятностей безотказной работы канала ФПМ, ФПМ и МФПУ, состоящего из нескольких модулей, проведен для следующих критериев отказа: до $K_{\max} = M - 1$; $L_{\max}/N = 0,5$ %; отсутствуют соседние неработоспособные каналы. Эти критерии могут быть изменены произвольным образом с учётом разумных требований заказчика. Результаты анализа будут иллюстрироваться численными расчётами для МФПУ нескольких форматов: $4 \times 288 \times 4$, $6 \times 480 \times 6$, $10 \times 640 \times 8$ и $16 \times 1024 \times 10$, где первое, второе и третье число формата, соответственно, M — число ФЧЭ в канале, N — число каналов в ФПМ и B — число ФПМ в МФПУ.

Вероятность безотказной работы канала ФПМ

Канал включает M ФЧЭ, допускается отказ не более K элементов ($K < M$). Вероятность работоспособного состояния ФЧЭ — $p_1(t)$, вероятность отказа ФЧЭ — $q_1(t)$. Сумма этих вероятностей для любого ФЧЭ всегда равна единице.

Канал с M элементами может находиться в различных состояниях, определяемых числом дефектных элементов. Число отказавших элементов обозначим символом i . Символ i может принимать любое целое значение в диапазоне от 0 до M . Число возможных состояний с фиксированным числом отказавших элементов i равно, согласно [6]:

$$C_M^i = \frac{M!}{i!(M-i)!}, \quad (1)$$

где C_M^i — число сочетаний из M по i .

Поскольку состояние каждого ФЧЭ не зависит от состояния других ФЧЭ, то, в соответствии с [7], вероятность одного состояния канала ФПМ с i отказавшими элементами есть:

$$p_2^{(i)} = q_1^i \cdot p_1^{M-i}. \quad (2)$$

Вероятность состояния канала ФПМ с фиксированной величиной i отказавших ФЧЭ равна значению:

$$p_2(i) = C_M^i \cdot q_1^i \cdot p_1^{M-i}, \quad (3)$$

(что совпадает с формулой Бернулли для независимых повторных испытаний, т. н. биномиальный закон распределения [7]).

Тогда, вероятность работоспособного состояния канала, при отказе не более K ФЧЭ, выражается следующей формулой:

$$p_2 = p_2(A) = \sum_{i=1}^K C_M^i \cdot q_1^i \cdot p_1^{M-i}. \quad (4)$$

Вероятность отказа канала ФПМ, если допускается отказ не более K ФЧЭ:

$$q_2 = p_2(\bar{A}) = 1 - p_2 = 1 - \sum_{i=0}^K C_m^i \cdot q_1^i \cdot p_1^{M-i}. \quad (5)$$

Выражение (5) можно записать также в следующем виде:

$$q_2 = p_2(\bar{A}) = \sum_{i=K+1}^M C_m^i \cdot q_1^i \cdot p_1^{M-i}. \quad (6)$$

На рис. 2, а, б, в, г показаны расчёты вероятности безотказной работы канала ФПМ для четырёх форматов канала с учётом экспоненциальной модели отказа ФЧЭ. Там же показаны кривые для канала из одного ФЧЭ. Из графиков видно, что критерий годности канала, включающего M ФЧЭ, будет обеспечивать более высокую вероятность безотказной работы в сравнении с каналом из одного ФЧЭ в ФПМ формата $1 \times N$, начиная с некоторой величины K , равной 10 ФЧЭ для 16 элементов в канале (16×1024), 5 ФЧЭ для 10 элементов в канале (10×640), 3 ФЧЭ для 6 элементов в канале (6×480) и 2 ФЧЭ для 4 элементов в канале (4×288).

Перейдем к анализу безотказности ФПМ.

Вероятность безотказной работы ФПМ

ФПМ включает N каналов и M элементов в канале. Недопустим одновременный отказ более K ФЧЭ, двух соседних каналов и более L каналов.

Рассматриваемая задача может быть разбита на подзадачи с последующим их объединением. Рассмотрим эти подзадачи.

А) В фотоприёмном модуле формата $M \times N$ не допускается отказ более B % каналов или более L каналов ($L \ll N$).

Поскольку в предыдущем разделе определена связь вероятностей 1-го иерархического уровня (ФЧЭ) со 2-м уровнем (канал ФПМ), то первая подзадача может быть переформулирована и решена аналогично задаче о безотказности канала.

Модуль включает N каналов, не допускается отказ более L каналов, при условии, что $L \ll N$. Вероятность отказа канала — q_2 , вероятность безотказной работы канала — $p_2 = 1 - q_2$. Они определяются через вероятности для ФЧЭ q_1 и p_1 по формулам (4) и (5).

Модуль с N каналами может находиться в различных состояниях по числу дефектных каналов. Вообще говоря, это число отказавших каналов равно j , где $j = 0, 1, 2, \dots, N$. Общее число вариантов состояний с числом отказавших каналов j равно значению:

$$C_N^j = \frac{N!}{j!(N-j)!}, \quad (7)$$

где C_N^j — число сочетаний из N по j .

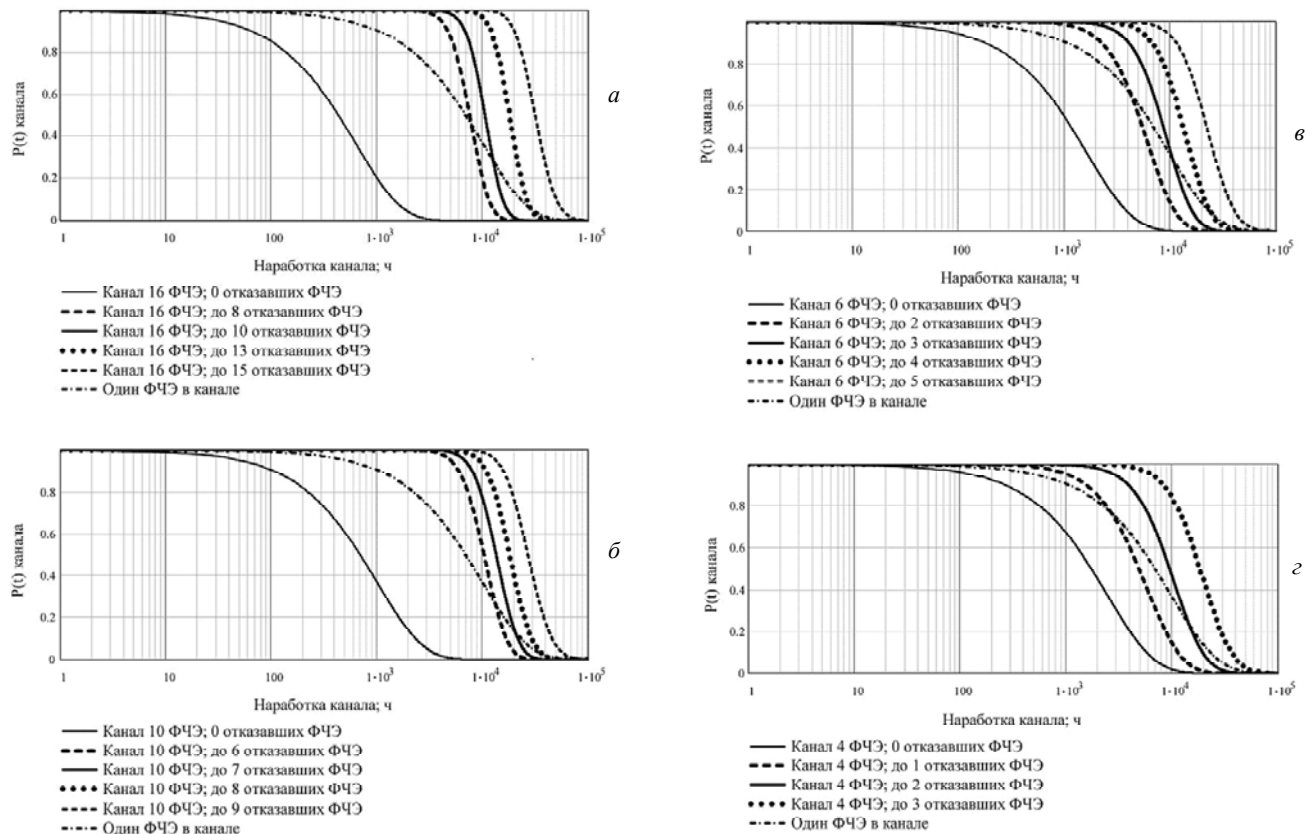


Рис. 2. Зависимость вероятности безотказной работы канала ФПМ от времени для четырех форматов канала: а — 16 ФЧЭ в канале; б — 10 ФЧЭ в канале; в — 6 ФЧЭ в канале; г — 4 ФЧЭ в канале

Поскольку состояние каждого канала не зависит от состояния других каналов, то вероятность фиксированного произвольного состояния ФПМ с j отказавшими каналами выражается в виде:

$$p_{31}^{(j)} = q_2^j \cdot p_2^{N-j}. \quad (8)$$

Здесь дополнительный индекс 1 означает первую подзадачу.

Окончательно, вероятность состояния ФПМ с фиксированным числом j отказавших каналов записывается следующим образом:

$$p_{31}(j) = C_N^j \cdot q_2^j \cdot p_2^{N-j}, \quad (9)$$

что также совпадает с формулой Бернулли [7] для независимых повторных испытаний. Тогда вероятность безотказной работы ФПМ с числом неработоспособных каналов, не превышающим L , равна значению:

$$p_{31} = \sum_{j=0}^L C_N^j \cdot q_2^j \cdot p_2^{N-j}. \quad (10)$$

При этом для вероятности отказа модуля получаем выражение:

$$q_{31} = 1 - p_{31} = 1 - \sum_{j=0}^L C_N^j \cdot q_2^j \cdot p_2^{N-j}. \quad (11)$$

Таким образом, мы получаем решение для вероятности безотказной работы ФПМ формата $1 \times N$, в котором допускается L неработоспособных каналов.

Б) ФПМ включает N каналов. Не допускается отказ двух соседних каналов.

Вероятности q_2 и p_2 определяются из решения задачи о вероятности безотказной работы канала. Число отказавших каналов модуля равно m ($m = 0, 1, 2, \dots, N$).

Вероятность одного состояния модуля с конкретным расположением m отказавших каналов описывается следующим выражением:

$$p_{32}(m) = q_2^m \cdot p_2^{N-m}. \quad (12)$$

Число равновероятных n состояний модуля с m отказавшими каналами, расположенными таким образом, что нет двух соседних отказавших, обозначим $n(m)$. Тогда вероятность работоспособного состояния модуля с m отказавшими каналами описывается выражением:

$$p_{32}[n(m)] = n(m) \cdot q_2^m \cdot p_2^{N-m}, \quad (13)$$

а искомая вероятность безотказной работы ФПМ определяется в виде:

$$p_{32} = \sum_{m=0}^N n(m) \cdot q_2^m \cdot p_2^{N-m}. \quad (14)$$

Количество комбинаций $n(m)$, благоприятствующих работоспособному состоянию модуля, при числе отказавших каналов равно m , рассчитанное по индукции, определяется выражением:

$$n(m) = C_{N+1-m}^m \quad \text{для } m \leq \left\lfloor \frac{N+1}{2} \right\rfloor. \quad (15)$$

Для значений m , превышающих указанную в (15) величину, $n(m) = 0$.

По формуле сложения вероятностей, искомая вероятность безотказной работы ФПМ, в котором не допускается отказ двух соседних каналов, определяем следующим образом:

$$p_{32} = \sum_{m=0}^{\left\lfloor \frac{N+1}{2} \right\rfloor} C_{N-m+1}^m \cdot q_2^m \cdot p_2^{N-m}. \quad (16)$$

Соответственно, вероятность отказа:

$$q_{32} = 1 - p_{32} = 1 - \sum_{m=0}^{\left\lfloor \frac{N+1}{2} \right\rfloor} C_{N-m+1}^m. \quad (17)$$

В) ФПМ включает N каналов, не допускается отказ более L каналов и одновременно отказ двух соседних каналов.

Поскольку число отказавших каналов $L \ll N$, то вероятность работоспособности модуля может быть найдена следующим образом.

Запишем формулу для полной вероятности безотказной работы такого ФПМ:

$$p_{33}(A) = \sum_{l=0}^N p(B_l) \cdot p(A/B_l), \quad (18)$$

где $p_{33}(A)$ — вероятность работоспособного состояния ФПМ;

B_l — событие, заключающееся в том, что в модуле из N каналов число отказавших каналов равно l ($l = 0, 1, 2, \dots, N$);

$p(B_l)$ — вероятность события B_l ;

$p(A/B_l)$ — условная вероятность того, что модуль работоспособен, когда число его отказавших каналов равно l (т. е. при условии реализации события B_l).

События B_l попарно несовместны и в сумме дают достоверное событие (что и является условием справедливости формулы (18)).

Вероятность события B_l описывается выражением:

$$p(B_l) = C_N^l \cdot q_2^l \cdot p_2^{N-l}. \quad (19)$$

Условная вероятность того, что модуль работоспособен, когда число его отказавших каналов

равно l (т. е. при условии реализации события B_l), может быть найдена, как отношение числа элементарных исходов, благоприятствующих событию A , равного $n(l)$, к общему числу элементарных исходов при событии B_l , равному C_N^l .

Число $n(l)$ определяется по формуле (15) для $l \leq L \leq \left\lfloor \frac{N+1}{2} \right\rfloor$ и $n(l) = 0$ для $l > L$, поскольку элементарные исходы, благоприятствующие событию A , отсутствуют.

В результате, для рассматриваемого критерия отказа получаем, согласно (18) и (19), вероятность события «А»

$$\begin{aligned} p_{33} &= \sum_{l=0}^L C_N^l \cdot q_2^l \cdot p_2^{N-l} \cdot \frac{C_{N+1-l}^l}{C_N^l} = \\ &= \sum_{l=0}^L C_{N+1-l}^l \cdot q_2^l \cdot p_2^{N-l}. \end{aligned} \quad (20)$$

Соответственно, вероятность события «не А», с учётом формулы (20) для $p_3(A)$, определяется выражением:

$$q_3 = 1 - p_3(A). \quad (21)$$

Г) Теперь мы можем перейти к расчету вероятности отказа ФПМ, включающего N каналов и M элементов в канале, если недопустим одновременный отказ более K элементов в годных каналах, двух соседних каналов и более L каналов. Все необходимые формулы для такого расчета получены ранее.

Формулу (5) преобразуем следующим образом. Воспользуемся биномиальным разложением:

$$\begin{aligned} (q_1 + p_1)^M &= \sum_{i=0}^M C_M^i \cdot p_1^{M-i} \cdot q_1^i = \\ &= \sum_{i=0}^K C_M^i \cdot p_1^{M-i} \cdot q_1^i + \sum_{i=K+1}^M C_M^i \cdot p_1^{M-i} \cdot q_1^i. \end{aligned} \quad (22)$$

Поскольку $q_1 + p_1 = 1$, то из (22) получаем

$$\sum_{i=0}^K C_M^i \cdot p_1^{M-i} \cdot q_1^i = 1 - \sum_{i=K+1}^M C_M^i \cdot p_1^{M-i} \cdot q_1^i. \quad (23)$$

Подставляя выражение (23) в (5), мы приходим к вероятности отказа канала в виде:

$$q_2 = \sum_{i=K+1}^M C_M^i \cdot p_1^{M-i} \cdot q_1^i. \quad (24)$$

Смысл (24) очевиден: отказ канала обусловлен отказом $K+1$ и более элементов в канале.

Для расчета вероятности отказа модуля q_3 запишем выражение, аналогичное (22), и заменим индекс 1 на 2. Получим

$$\sum_{m=0}^L C_N^m \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m + \sum_{m=L+1}^N C_N^m \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m = 1. \quad (25)$$

Подставив (25) в формулу (21), вместо единицы получим искомое выражение:

$$\begin{aligned} q_3 &= \sum_{m=0}^L (C_N^m - C_{N-m+1}^m) \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m + \\ &+ \sum_{m=L+1}^N C_N^m \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m. \end{aligned} \quad (26)$$

Тогда вероятность безотказной работы ФПМ будет иметь следующий вид:

$$p_3 = 1 - q_3. \quad (27)$$

На рис. 3, а, б, в, г показаны расчёты вероятности безотказной работы ФПМ четырёх рассматриваемых форматов. Там же показаны кривые для ФПМ формата $1 \times N$. Из графиков видно, что многорядные ФПМ, в сравнении с модулем формата $1 \times N$, имеют более высокие вероятности безотказной работы в большем временном интервале.

Перейдем к анализу безотказности МФПУ.

Вероятность безотказной работы МФПУ

МФПУ состоит из B модулей, критерий отказа каждого модуля указан в предыдущем разделе. Вероятность работоспособного состояния b -го модуля запишем в виде:

$$\begin{aligned} p_{3b} &= 1 - \sum_{m=0}^L (C_N^m - C_{N-m+1}^m) \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m + \\ &+ \sum_{m=L+1}^N C_N^m \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m. \end{aligned} \quad (28)$$

В этой формуле вероятности p_2 и q_2 , относящиеся к каналам, определяются по формулам (4), (5) и одинаковы для всех ФПМ.

Отказ любого модуля МФПУ или нескольких модулей в любой их комбинации является отказом МФПУ. Поэтому условием работоспособности МФПУ является работоспособность всех его модулей. В силу независимости событий отказов модулей, вероятность p_4 работоспособного состояния МФПУ определяется произведением вероятностей p_{3i} :

$$\begin{aligned} p_4 &= \prod_{b=1}^B p_{3b} = \left[1 - \sum_{m=0}^L (C_N^m - C_{N-m+1}^m) \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m + \right. \\ &\left. + \sum_{m=L+1}^N C_N^m \cdot p_2^{N-m} \cdot q_2^m \right]^B. \end{aligned} \quad (29)$$

Соответственно, вероятность q_4 отказа МФПУ вычисляется по формуле:

$$q_4 = 1 - \prod_{b=1}^B p_{3b}. \quad (30)$$

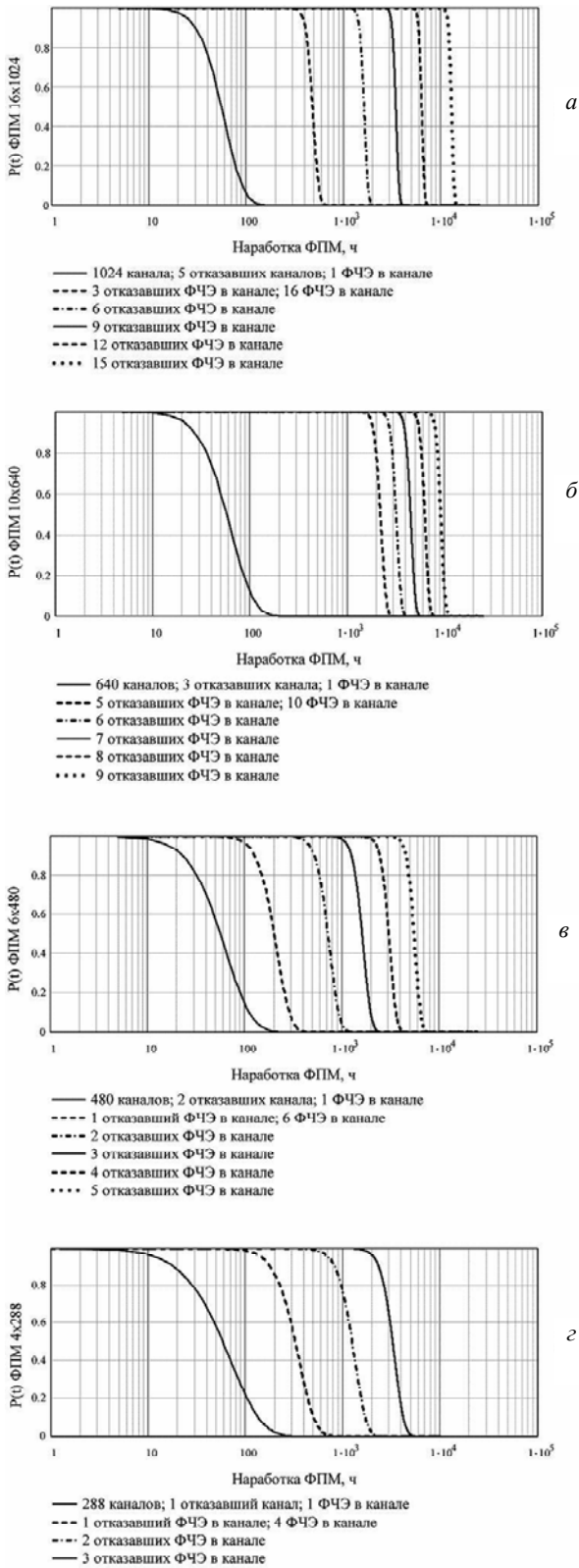


Рис. 3. Расчёты вероятности безотказной работы ФПМ четырёх рассматриваемых форматов

На рис. 4, а, б, в, г показаны результаты анализа вероятности безотказной работы МФПУ четырёх вышеуказанных форматов. Там же показаны кривые для линейного МФПУ формата $1 \times N \times B$. Из графиков видно, что критерий годности многорядного и многомодульного МФПУ будет обеспе-

чивать более высокую вероятность их безотказной работы в сравнении с модулем формата $1 \times N$. Кроме этого, вероятность безотказной работы МФПУ с ростом числа ФПМ ухудшается во времени медленнее для МФПУ с большим числом ФЧЭ в канале.

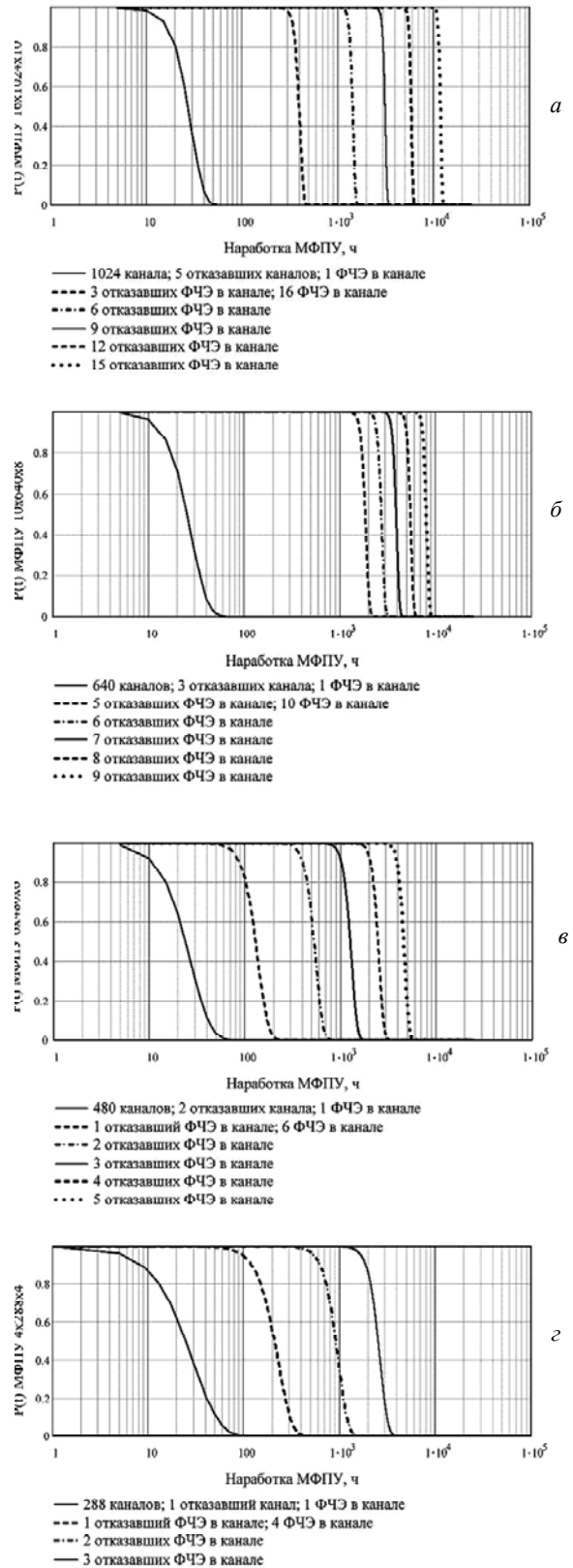


Рис. 4. Результаты анализа вероятности безотказной работы МФПУ четырёх вышеуказанных форматов

Полученные выражения позволяют вычислить также и среднюю наработку ФЧЭ, канала, ФПМ и МФПУ до отказа, равную площади под кривой зависимости вероятности безотказной работы от наработки устройства [8]. Полученные результаты для рассматриваемых МФПУ и для МФПУ формата $1 \times N$ приведены в таблице.

канала, модуля и МФПУ, чьи времена безотказной работы много ниже этих же параметров сопровождающей микроэлектроники.

Рассчитанные величины средней наработки ФЧЭ, канала, ФПМ и МФПУ до отказа показали полное преимущество многорядных устройств над однорядными.

Таблица

Формат МФПУ	$T_{ср}$ ФЧЭ, ч	$T_{ср}$ канал, ч	$T_{ср}$ ФПМ, ч	$T_{ср}$ МФПУ, ч	$T_{ср}$ МФПУ $1 \times N$, ч
4×288×4	$1 \cdot 10^4$	$3,38 \cdot 10^4$	$1,28 \cdot 10^4$	$1,17 \cdot 10^4$	8,68
6×480×6	$1 \cdot 10^4$	$2,93 \cdot 10^4$	$9,06 \cdot 10^3$	$7,94 \cdot 10^3$	$7,69 \cdot 10^{-12}$
10×640×8	$1 \cdot 10^4$	$2,72 \cdot 10^4$	$7,38 \cdot 10^3$	$6,31 \cdot 10^3$	0
16×1024×10	$1 \cdot 10^4$	$2,08 \cdot 10^4$	$3,24 \cdot 10^3$	$2,51 \cdot 10^3$	0

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что средние наработки до отказа многорядного МФПУ формата $M \times N \times B$ и МФПУ формата $1 \times N \times B$ при одинаковых критериях годности отличаются очень сильно, причём отличие быстро растёт с увеличением формата МФПУ. Это указывает на необходимость увеличения числа ФЧЭ в канале при необходимости увеличения формата МФПУ.

Заключение

Полученная аналитическая модель безотказности многорядного МФПУ позволила получить аналитические выражения, определяющие вероятности безотказной работы канала, модуля и МФПУ с учетом задаваемых критериев отказов, и показать, что безотказность многорядных устройств существенно лучше безотказности однорядных устройств. Полученные аналитические выражения позволяют получить конкретные численные значения вероятности безотказной работы

Работа выполнена по гранту Президента Российской Федерации НШ-2787.2014.9

Литература

1. Испытания на надёжность. Реферат. — Москва: НПО «Орион», 2005.
2. Надёжность ЭРИ. Справочник. — Москва: ЦНИИ МО РФ, 2004.
3. Бурлаков И. Д., Болтарь К. О., Патрашин А. И. и др. // Прикладная физика. 2010. № 4. С. 119.
4. Патрашин А. И., Бурлаков И. Д., Корнеева М. Д. и др. // Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 1. С. 50.
5. Вентцель Е. С. Теория вероятности. — Москва: Академкнига, 2005.
6. Виленкин Н. Я. Комбинаторика — Москва: Наука, 1969.
7. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и её приложения — пер. с англ., 2-е изд., т. 1-2, М., 1967.
8. Надёжность и эффективность в технике. Справочник. Т. 2 и Т. 6. — Москва: Машиностроение, 1987—1989.

No-failure operation analytical model of linear array

A. I. Patrashin¹, I. D. Burlakov^{1,2}, and G. A. Ivanov¹

¹Orion R&P Association
46/2 Entuziastov shosse, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

²Moscow Institute of Radio Electronics and Automatics (MIREA)
78 Vernadsky av., Moscow, 119454, Russia

Received August 25, 2014

Analytical model is developed with the help of probability and reliability theories. The model describes no-failure operation probability (NFOP) of a photosensitive device (PSD) consisting of some IR arrays. Each IR array includes $M \times N$ photosensitive elements (PSE). NFOP for PSD is

calculated using known NFOP for PSE, maximal failure PSE quantity in a channel, maximal failure channel quantity without failure neighbor channel, maximal IR array quantity. PSE has exponential failure model. Numerical and graphical data are calculated for the following PSD dimensions: $16 \times 1024 \times 10$, $10 \times 640 \times 8$, $8 \times 480 \times 6$ and $4 \times 288 \times 4$.

PACS: 07.57.Kp, 85.25.Pb, 85.60.Gz

Keywords: FPA, reliability, probability of no-failure, mean time between failures.

References

1. *Fail-Safety Test. Review.* (NPO Orion, Moscow, 2005) [in Russian].
2. *Reliability of Radio-Electronic Devices. Handbook.* (The 22-nd Institute, Moscow, 2004) [in Russian].
3. I. D. Burlakov, K. O. Boltar, A. I. Patrashin et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 4, 119 (2010).
4. A. I. Patrashin, I. D. Burlakov, M. D. Korneeva, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **2**, 50 (2014).
5. E. S. Ventsel, *Theory of Probability* (Akademkniga, Moscow, 2005) [in Russian].
6. N. Ya. Vilenkin, *Theory of Combinations* (Naukam Moscow, 1969) [in Russian].
7. V. Feller, *Introduction to Theory of Probability* (Moscow, 1967) [in Russian].
8. *Reliability and Effectiveness in Engineering. Handbook* (Mashinostroeniem Moscow, 1987—1989) [in Russian].