

УДК 621.3.019.3

КИБЕРНЕТИКА

Ю. М. Гаспарян, Н. В. Гагрджян, Д. Р. Оганесян

Анализ надежности систем, состоящих из элементов
с тремя состояниями

(Представлено академиком АН Армянской ССР Р. В. Атояном 19/1 1990)

1. *Введение.* Существует определенный класс технических устройств и систем, элементы которых могут находиться в одном из трех состояний: работоспособности, отказа типа «обрыв» и отказа типа «короткое замыкание». Типичными примерами таких устройств являются регулирующие клапаны, электрические реле и электронные приборы.

Для систем, содержащих такие элементы, характерно то, что в зависимости от преобладающего вида отказов элементов резервирование может не только не увеличивать, но даже снижать ее надежность. Поэтому при решении задач по обеспечению требуемого уровня надежности систем, состоящих из элементов с тремя состояниями, с помощью резервирования необходимо осуществлять детальный анализ надежности. По мере усложнения системы анализ надежности становится более громоздким, в особенности для систем с произвольной структурой.

Обзор работ по анализу надежности электрических и электронных устройств с тремя состояниями приведен в (1). В этих работах рассматриваются в основном устройства, имеющие с точки зрения надежности последовательную структуру. В (2) предлагается методика для систем с произвольной структурой, в которой для расчета нормы структурной функции используется метод ортогонализации, что связано с большой вычислительной сложностью.

Предлагаемый в работе метод анализа надежности систем из элементов с тремя состояниями отличается от существующих высокой вычислительной эффективностью. Обусловлено это тем, что в отличие от существующих методов в предлагаемом методе для расчета значений вероятностей нахождения системы в различных состояниях не используются процедуры получения структурных функций и их нормы.

2. *Постановка задачи.* Пусть система состоит из n элементов. Предполагается, что как система, так и элементы могут находиться только в одном из трех состояний: работоспособности, отказа типа «обрыв» и отказа типа «короткое замыкание». Пусть состояние i -го элемента характеризуется переменной $x_i^{(0)}$, $x_i^{(0)} \in \{0, 1, 2\}$. Причем $x_i^{(0)}$ соответствует состоянию работоспособности i -го элемента, x_i^1 — состоянию отказа i -го элемента типа «обрыв», а $x_i^{(2)}$ — состоянию отказа i -го элемента типа «короткое замыкание». Состояние системы характеризуется переменной $S^{(0)} \in \{0, 1, 2\}$. Состояния системы в зависимости от значе-

ния σ определяются аналогично (как для элементов). Обозначим через $p\{x_i^{(\sigma)}\}$, $\sigma \in \{0, 1, 2\}$ вероятность нахождения i -го элемента в состоянии $x_i^{(\sigma)}$. Вероятность нахождения системы в состоянии $S^{(\sigma)}$, $\sigma \in \{0, 1, 2\}$ обозначим через $p\{S^{(\sigma)}\}$.

Предполагается, что состояния элементов системы статистически независимы.

Тогда задача сводится к нахождению значений вероятностей $p\{S^{(\sigma)}\}$, $\sigma \in \{0, 1, 2\}$, при известных значениях $p\{X_i\}$, $i = \overline{1, n}$, $\sigma \in \{0, 1, 2\}$ и алгоритме функционирования системы.

3. *Описание алгоритма.* Обозначим через S_k структурную схему надежности системы в предположении, что элементы системы могут находиться только в одном из двух состояний: в состоянии работоспособности или в состоянии отказа типа «обрыв». Через S_0 обозначим структурную схему, двойственную к S_k . Элементам S_k и S_0 присвоим вероятности нахождения в работоспособном состоянии $p\{X_i^{(2)}\}$, $i = \overline{1, n}$ и $p\{X_i^{(1)}\}$, $i = \overline{1, n}$ соответственно.

Обозначим через $p\{S_k\}$ и $p\{S_0\}$ вероятности связности S_k и S_0 соответственно. Нетрудно заметить ⁽²⁾, что исследуемая система может находиться в состоянии отказа типа «обрыв», если в S_k все элементы хотя бы одного сечения одновременно находятся в состоянии отказа типа «обрыв», и в состоянии отказа типа «короткое замыкание», если в S_0 все элементы хотя бы одного минимального пути одновременно находятся в состоянии отказа типа «короткое замыкание». Ввиду дуальности S_k и S_0 аналогичные предположения можно делать относительно S_0 . В этом случае необходимо только менять местами типы отказов и состояния системы.

Из сказанного следует, что

$$p\{S^{(1)}\} = p\{S_0\} \text{ и } p\{S^{(2)}\} = p\{S_k\}.$$

Вероятность безотказной работы системы определяется формулой

$$p\{S^{(0)}\} = 1 - p\{S^{(1)}\} - p\{S^{(2)}\}.$$

Общая блок-схема алгоритма имеет следующий вид:

Шаг 1. Анализируя алгоритм функционирования системы, построить S_k .

Шаг 2. Элементам S_k присвоить значения вероятностей безотказной работы $p\{X_i^{(2)}\}$, $i = \overline{1, n}$.

Шаг 3. Используя рассмотренный в работе ⁽³⁾ метод оценки надежности систем с произвольной структурой, вычислить значения $p\{S_k\}$.

Шаг 4. Используя рассмотренный в работе ⁽⁴⁾ метод построения двойственных графов, построить S_0 .

Шаг 5. Элементам S_0 присвоить значения вероятностей безотказной работы $p\{X_i^{(1)}\}$, $i = \overline{1, n}$.

Шаг 6. Используя рассмотренный в работе ⁽³⁾ метод оценки надежности систем с произвольной структурой, вычислить значения $p\{S_0\}$.

Шаг 7. Значение вероятности безотказной работы системы вычислить по формуле $p\{S\} = 1 - p\{S_k\} - p\{S_0\}$.

Шаг 8. Конец.

4. *Пример.* Рассмотрим систему, структурная схема которой показана на рис. 1. В таблице приведены значения вероятностей $p[X_i^{(i)}]$, $i = \overline{1, 7}$, $r_i \in \{0, 1, 2\}$.

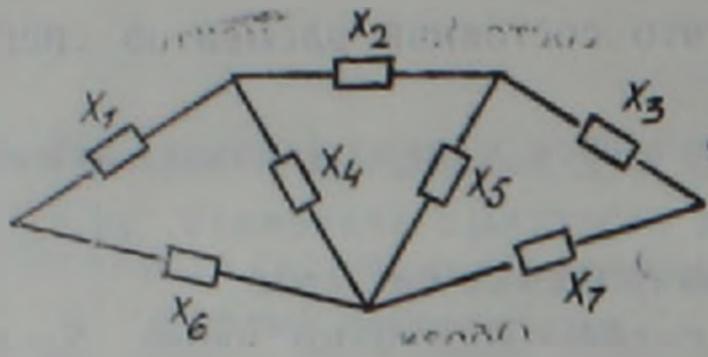


Рис. 1

Значения	Элементы системы						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
$r[X_i^{(0)}]$	0.90	0.85	0.92	0.86	0.80	0.90	0.84
$p[X_i^{(1)}]$	0.04	0.07	0.05	0.06	0.12	0.66	0.07
$p[X_i^{(2)}]$	0.06	0.08	0.03	0.08	0.08	0.04	0.09

Обозначим через $S_{i_1}^{r_1}, \dots, S_{i_m}^{r_m}$, $r_1, \dots, r_m \in \{0, 1\}$, $1 \leq i_1 < \dots < i_m \leq n$, подструктуру, которая получается из S с помощью следующей процедуры. Элемент $x_{i_j}^{(r_j)}$ в S закорачивается, если $r_j = 1$, и обрывается, если $r_j = 0$.

Элементам S_k присваиваем значения вероятностей безотказной работы, равные $p[X_i^{(2)}]$.

Для расчета $p[S_k]$ используем метод разложения структурной схемы надежности системы по множеству ключевых переменных, рассмотренных в (2). Для этого в S_k определяется множество "ключевых" элементов. Для S_k ключевыми элементами являются x_4 и x_5 .

Из S_k строятся подструктуры $S_{k,4,5}^{0,0}$, $S_{k,4,5}^{0,1}$, $S_{k,4,5}^{1,0}$, $S_{k,4,5}^{1,1}$, которые показаны на рис. 2, а—д, вычисляются значения вероятностей безот-

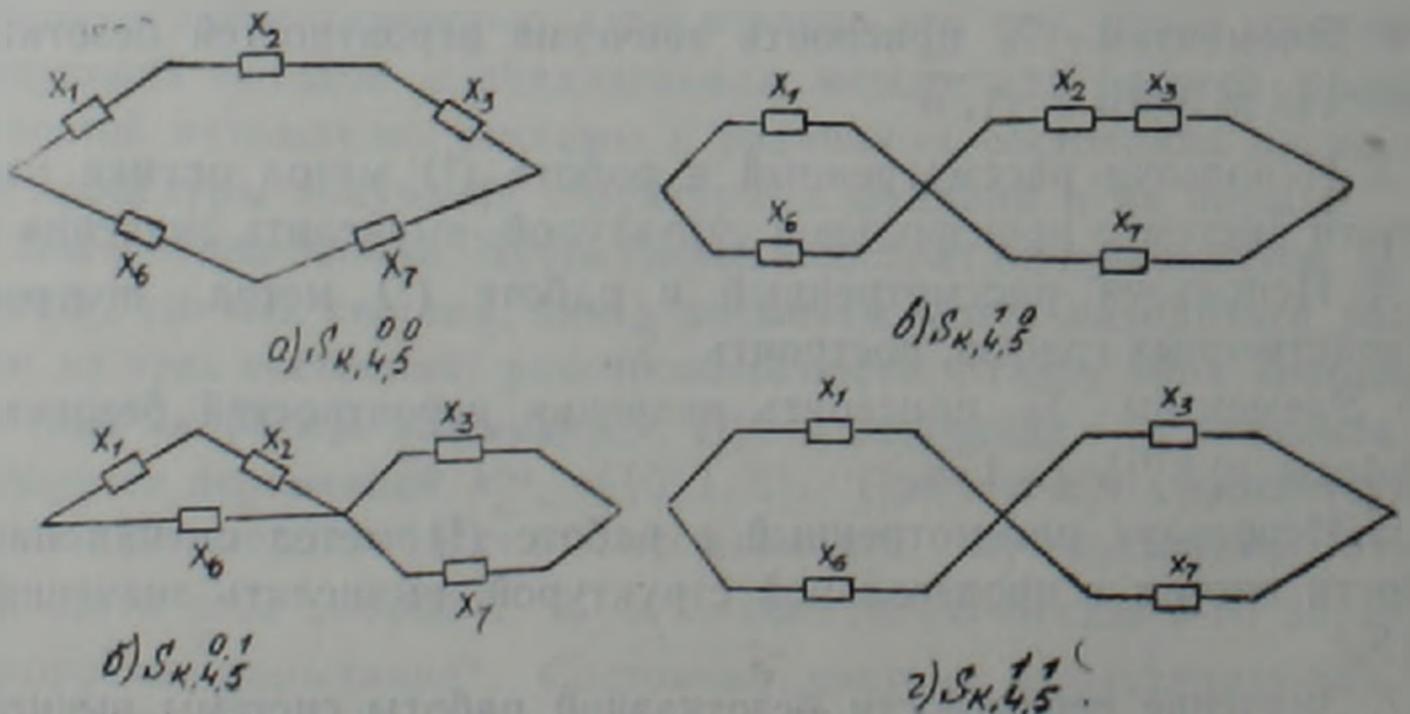


Рис. 2

казной работы $p[S_{k,4,5}^{r_4, r_5}]$ для всевозможных двоичных наборов (r_4, r_5) .
 Получим $p[S_{k,4,5}^{0,0}] = 0,0037$; $p[S_{k,4,5}^{0,1}] = 0,005$; $p[S_{k,4,5}^{1,0}] = 0,009$; $p[S_{k,4,5}^{1,1}] = 0,0114$.

Вычисляем значение $P[S_k]$ по формуле

$$p[S_k] = [1 - p[x_4^{(2)}] | 1 - p[x_5^{(2)}] | p[S_{k,4,5}^{0,0}] + \\
 + [1 - p[x_4^{(2)}] | p[x_5^{(2)}] | p[S_{k,4,5}^{0,1}] + p[x_4^{(2)}] | 1 - p[x_5^{(2)}] | p[S_{k,4,5}^{1,0}] + \\
 + p[x_4^{(2)}] | p[x_5^{(2)}] | p[S_{k,4,5}^{1,1}].$$

Подставляя значения $p[x_4^{(2)}]$, $p[x_5^{(2)}]$ и $p[S_{k,4,5}^{r_4, r_5}]$ для всевозможных двоичных наборов (r_4, r_5) в эту формулу, получим $p[S_k] = 0,004289$.

Используя метод, рассмотренный в (6), построим структуру S_0 .
 На рис. 3 схематически показана процедура получения S_0 из S_k .

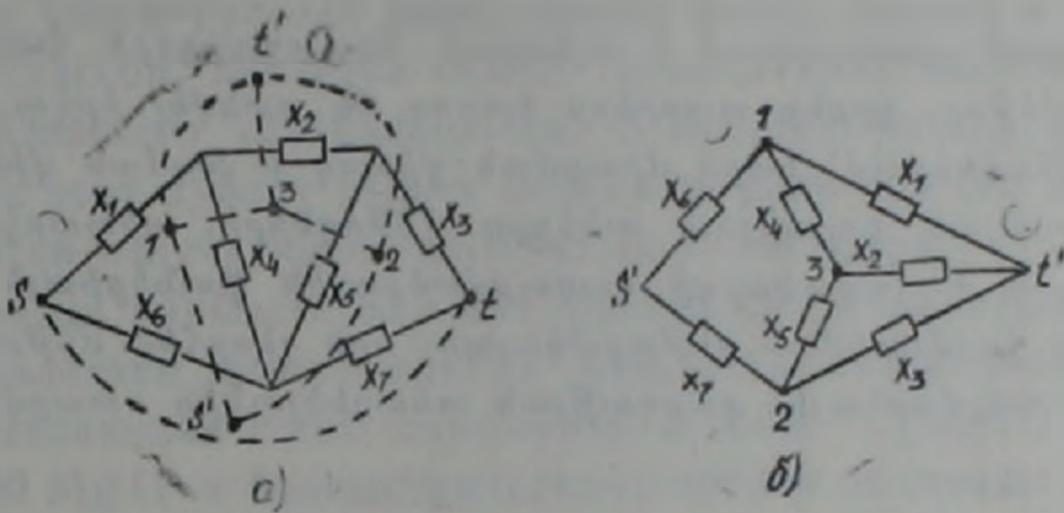


Рис. 3

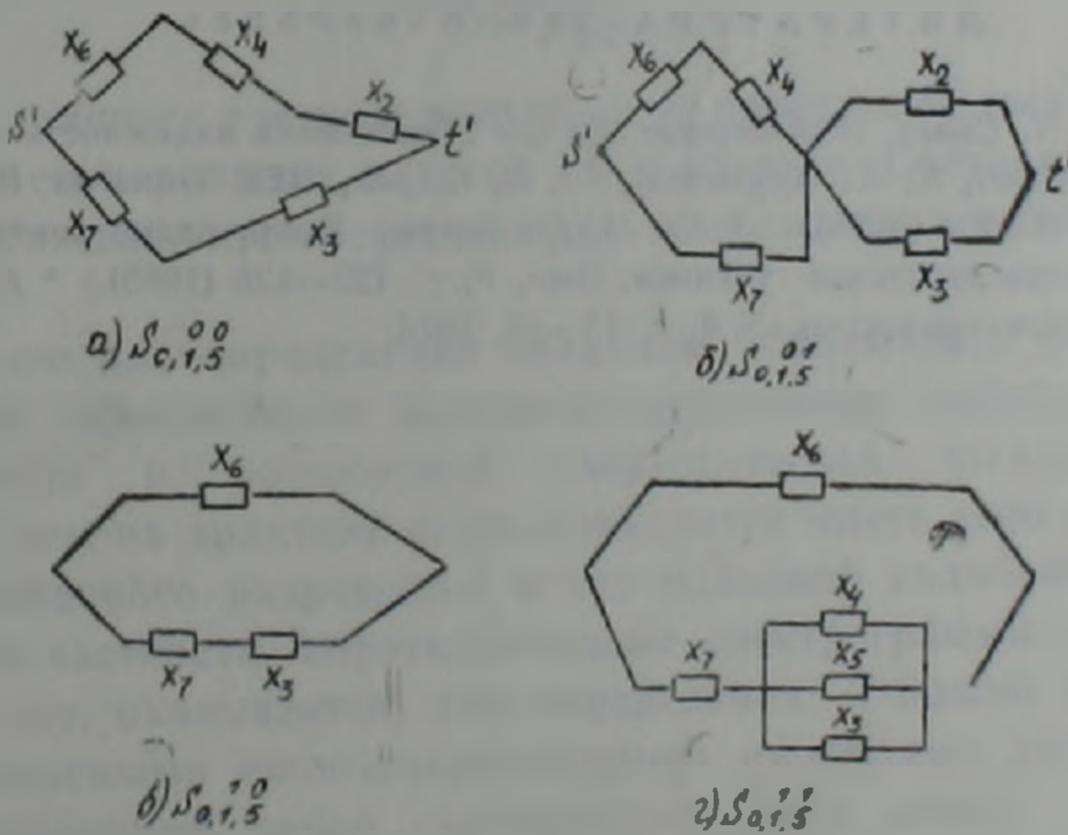


Рис. 4

Элементам S_0 присваиваются значения вероятностей безотказной работы, равные $p[x_i^{(1)}]$, $i = \overline{1, 7}$.

Определяется множество «ключевых элементов» в S_k . Ими являются x_1 и x_3 . Затем строятся подструктуры $S_{0,1,5}^{0,0}$, $S_{0,1,5}^{0,1}$, $S_{0,1,5}^{1,0}$, $S_{0,1,5}^{1,1}$ и вычисляются значения вероятностей безотказной работы систем с данным структурными схемами (рис. 4). Получим

$$p[S_{0,1,5}^{0,0}] = 0,0037; \quad p[S_{0,1,5}^{0,1}] = 0,0085;$$

$$p[S_{0,1,5}^{1,0}] = 0,6632; p[S_{0,1,5}^{1,1}] = 0,0712.$$

Затем, аналогично формуле вычисления $p[S_k]$, определяем значение $p[S_0]$. Получим $p[S_0] = 0,0073$.

Определим вероятность безотказной работы системы:

$$p[S] = 1 - p[S_k] - p[S_0] = 0,9883.$$

Ереванский политехнический институт им. К. Маркса

ՅՈՒ. Մ. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ն. Վ. ԴԱԹՐՋՅԱՆ, Դ. Ռ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Ի՞նչ վիճակ ունեցող տարրերից բաղկացած համակարգերի հուսալիության վերլուծության մեթոդ

Աշխատանքում դիտարկվում է այնպիսի համակարգերի հուսալիության վերլուծության մեթոդ, որոնց տարրերը կարող են գտնվել երկու հնարավոր խափանման վիճակներում՝ կարճ միացման վիճակ և խզման վիճակ:

Ի տարբերություն գոյություն ունեցող մեթոդների, դիտարկվող մեթոդում բացակայում է համակարգի կառուցվածքային ֆունկցիայի ստացման և նրա նորմայի հաշվարկման ընթացակարգը, որի շնորհիվ մեթոդի արդյունավետությունը հաշվարկային բարդության տեսանկյունից ստացվում է բարձր:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Б. Диллон, Ч. Сингх, Инженерные методы обеспечения надежности систем. Мир. М. 1984. ² К. Gopal, K. K. Aggarwal, J. S. Gupta, IEE Trans on Reliability, v. R-27, № 3, p. 233-236 (1978). ³ Ю. М. Гаспарян. Вопр. радиоэлектроники. Сер. электроника и вычислительная техника. Вып. 6, с. 122-125 (1985). ⁴ Ю. А. Фокин, Чан-динь-Лонг, Электричество. № 8, с. 13-18, 1976.