

Аналитико-табличный метод расчёта показателей надёжности

Современный этап развития информационно-управляющих систем показывает, что в условиях существующих ограничений материальных ресурсов и сроков внедрения в эксплуатацию перспективным способом их разработки является использование блочного принципа построения структур из отдельных взаимосвязанных блоков, представляющих собой многополюсные элементы. Блочный принцип приводит к сокращению трудовых и интеллектуальных затрат на проектирование систем, а также упрощает последующие процессы их наращивания и реконфигурации.

Современные многополюсные компоненты, построенные, как правило, на больших интегральных схемах, которые включают несколько функциональных элементов, имеют среднюю наработку до отказа от сотен тысяч до нескольких миллионов часов. Однако при использовании таких компонентов в сложных системах реально достижимой является наработка до отказа около десяти тысяч часов, что, как правило, не удовлетворяет предъявляемым в условиях конкурентной борьбы требованиям по продолжительности эксплуатации.

Наиболее эффективными способами решения этой проблемы являются:

применение многополюсных элементов с высокой и сверхвысокой степенью интеграции;

обеспечение облегченных режимов работы многополюсных элементов;

использование мажоритарных схем типа «два из трёх», «три из четырёх» и т.п., а также схем с безопасными оконечными устройствами или иначе – схем с «несимметричными отказами»;

совершенствование методов сборки, испытаний и эксплуатации систем.

Разрабатываемые в настоящее время отечественной промышленностью сложные информационно-управляющие системы построены, как правило, на основе шинных структур с использованием многополюсных элементов. Расчёт показателей надёжности таких систем с помощью широко известных и опубликованных, например, в работе [1] аналитических методов, представляет собой сложную задачу, для решения которой требуются значительные затраты времени и необходимость привлечения большой группы квалифицированных специалистов. Рациональным выходом из этой ситуации является использование аналитико-табличного метода.

В основу этого метода положен подход, который базируется на построении таблиц состояний (таблиц решений) функционального блока [2]. Применительно к блоку, имеющему n входов и m выходов, таблица состояний включает $n + m + 1$ столбцов. В строках этой таблицы приводятся все возможные варианты сочетаний технического состояния блока и состояний его входов. Поэтому число строк в таблице состояний равно $N_c = 2^{n+1}$. Например, таблица состояний трёхполюсного элемента, имеющего два резервированных входа и один выход, имеет вид, приведённый в таблице 1.

Таблица 1

| S | X ₁ | X ₂ | Y |
|---|----------------|----------------|----------------|
| W | W | W | W ₁ |
| W | W | F | W ₂ |
| W | F | W | W ₃ |
| W | F | F | F |
| F | W | W | F |
| F | W | F | F |
| F | F | W | F |
| F | F | F | F |

В таблице 1 введены следующие обозначения:

S - техническое (внутреннее) состояние блока;

X_i - состояние i-го входа блока (i = 1, 2);

Y - состояние выхода блока;

W - работоспособное состояние;

F - неработоспособное состояние.

Вероятность работоспособного состояния выхода блока находится путём суммирования произведений вероятности технического состояния блока и вероятностей состояний его входов, которые приведены в первых трёх строках таблицы 1. Эти строки соответствуют таким вариантам комбинаций состояний входов, а также внутреннего состояния блока, при которых достигается работоспособное состояние его выхода. Поэтому искомая вероятность находится по формуле

$$P_Y(W) = \sum_{j=1}^3 P_Y(W_j),$$

где $P_Y(W_j)$ - вероятность j-го варианта комбинаций состояний входов и внутреннего состояния блока, при которых достигается работоспособное состояние его выхода:

$$P_Y(W_1) = P_S(W)P_{X_1}(W)P_{X_2}(W),$$

$$P_Y(W_2) = P_S(W)P_{X_1}(W)P_{X_2}(F),$$

$$P_Y(W_3) = P_S(W)P_{X_1}(F)P_{X_2}(W);$$

$P_S(W)$ - вероятность работоспособного состояния блока;

$P_{X_i}(W)$ - вероятность работоспособного состояния i-го входа блока;

$P_{X_i}(F)$ - вероятность неработоспособного состояния i-го входа блока.

Анализ структуры построения современных информационно-управляющих систем показывает, что они содержат сотни многополюсных элементов, к которым подключены резервированные информационные и управляющие шины, а также шины питания. Поэтому конечное множество (\mathbf{X}) состояний входов многополюсного элемента целесообразно представить в виде двух подмножеств, т.е.

$$\mathbf{X} = \mathbf{V} \mathbf{Y} \mathbf{Z},$$

где \mathbf{V} - конечное подмножество состояний информационных полюсов:

$$\mathbf{V} = \{V^1, V^2, \dots, V^a\};$$

\mathbf{Z} - конечное подмножество состояний полюсов элемента, подключённых к источникам электрической энергии:

$$\mathbf{Z} = \{Z^1, Z^2, \dots, Z^b\}.$$

Тогда математическая модель надёжности элемента, полюсы которого подключены к резервированным информационным (входным) и управляющим (выходным) шинам, а также к резервированным шинам питания, представляется в виде

$$\mathbf{M} = \{\mathbf{V}, \mathbf{Z}, \mathbf{S}, \mathbf{Y}, j\}, \quad (1)$$

где \mathbf{S} - конечное множество внутренних состояний многополюсного элемента:

$$\mathbf{S} = \{S^1, S^2, \dots, S^c\};$$

\mathbf{Y} - конечное множество состояний управляющих (выходных) полюсов:

$$\mathbf{Y} = \{Y^1, Y^2, \dots, Y^d\};$$

j - отображение множества $[\mathbf{V} \times \mathbf{Z}] \times \mathbf{S}$ в множество \mathbf{Y} :

$$[\mathbf{V} \times \mathbf{Z}] \times \mathbf{S} \xrightarrow{j} \mathbf{Y}.$$

Верхние индексы множеств \mathbf{V} , \mathbf{Z} , \mathbf{S} и \mathbf{Y} задаются в алфавите $[0, 1]$. Размерность индекса определяется количеством резервированных шин, подключённых к многополюсному элементу (блоку), и количеством резервированных функциональных компонентов, входящих в блок. Значение индекса множества равно нулю соответствует неработоспособному состоянию полюса или функционального компонента, а значение индекса равно единице - работоспособному состоянию.

Математической модели (1) сопоставляется таблица (матрица) состояний, реализующая отображение j . При этом таблицу состояний предлагается записывать в несколько другом (более компактном по сравнению с таблицей 1) виде, представленном в таблице 2, где $j(V^a, Z^b, S^g)$ - элемент множества \mathbf{Y} , являющегося отображением декартова произведения множеств \mathbf{V} , \mathbf{Z} и \mathbf{S} .

Таблица 2

| V | Z | S | | | | |
|----------------|----------------|--------------------|-----|--------------------|-----|--------------------|
| | | S ¹ | ... | S ^g | ... | S ^c |
| V ¹ | Z ¹ | $j(V^1, Z^1, S^1)$ | ... | $j(V^1, Z^1, S^g)$ | ... | $j(V^1, Z^1, S^c)$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Z ^b | $j(V^1, Z^b, S^1)$ | ... | $j(V^1, Z^b, S^g)$ | ... | $j(V^1, Z^b, S^c)$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Z ^b | $j(V^1, Z^b, S^1)$ | ... | $j(V^1, Z^b, S^g)$ | ... | $j(V^1, Z^b, S^c)$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| V ^a | Z ¹ | $j(V^a, Z^1, S^1)$ | ... | $j(V^a, Z^1, S^g)$ | ... | $j(V^a, Z^1, S^c)$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Z ^b | $j(V^a, Z^b, S^1)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^g)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^c)$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Z ^b | $j(V^a, Z^b, S^1)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^g)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^c)$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| V ^a | Z ¹ | $j(V^a, Z^1, S^1)$ | ... | $j(V^a, Z^1, S^g)$ | ... | $j(V^a, Z^1, S^c)$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Z ^b | $j(V^a, Z^b, S^1)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^g)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^c)$ |
| | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| | Z ^b | $j(V^a, Z^b, S^1)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^g)$ | ... | $j(V^a, Z^b, S^c)$ |

Каждый элемент $j(V^a, Z^b, S^g)$ конечного множества Y представляет собой m -мерный вектор. Компонентами этого вектора являются состояния (работоспособное - W_j^x или неработоспособное - F^x) x -го управляющего полюса блока. Нижний индекс компонента W_j^x вектора $j(V^a, Z^b, S^g)$ характеризует порядковый номер работоспособного состояния x -го управляющего полюса в таблице состояний.

Для повышения наглядности изображения таблицы состояний множество Y представляется в виде объединения двух непересекающихся подмножеств, т.е. $Y = W \cup F$, где W - множество работоспособных состояний и F - множество неработоспособных состояний выходных полюсов.

Тогда, например, пятиполюсный элемент, содержащий два резервированных функциональных компонента и подключённый к двум резервированным информационным шинам, двум резервированным шинам питания и к одной управляющей шине, имеет матрицу состояний, приведённую в таблице 3.

Таблица 3

| V | Z | S | | |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | S ¹¹ | S ¹⁰ | S ⁰¹ |
| V ¹¹ | Z ¹¹ | W ₁ ¹ | W ₈ ¹ | W ₁₂ ¹ |
| | Z ¹⁰ | W ₂ ¹ | W ₉ ¹ | F ¹ |
| | Z ⁰¹ | W ₃ ¹ | F ¹ | W ₁₃ ¹ |
| V ¹⁰ | Z ¹¹ | W ₄ ¹ | W ₁₀ ¹ | F ¹ |
| | Z ¹⁰ | W ₅ ¹ | W ₁₁ ¹ | F ¹ |
| | Z ⁰¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| V ⁰¹ | Z ¹¹ | W ₆ ¹ | F ¹ | W ₁₄ ¹ |
| | Z ¹⁰ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ⁰¹ | W ₇ ¹ | F ¹ | W ₁₅ ¹ |

В этой матрице введены следующие обозначения:

W_j^1 - j-ый вариант работоспособного состояния первого выходного полюса ($j = \overline{1, 15}$);

F^1 - неработоспособное состояние первого выходного полюса.

Кроме того, с целью упрощения её вида, не приведены строки и столбцы, содержащие состояния информационных шин и шин питания (V^{00} и Z^{00}), а также техническое состояние пятиполюсного элемента (S^{00}), которые приводят к неработоспособному состоянию выходного полюса.

Вероятность того, что x -ый управляющий полюс блока находится в j -ом работоспособном состоянии (W_j^x), определяется с помощью выражения

$$P(W_j^x) = P(V^a)P(Z^b)P(S^g), \quad (2)$$

где индексы α , β и γ удовлетворяют отображению $[V^a \times Z^b] \times S^g \xrightarrow{w^x} W_j^x$.

Вероятность работоспособного состояния x -го выходного полюса блока равна сумме вероятностей (2) и рассчитывается по формуле

$$P(W^x) = \sum_{j=1}^{N_p^x} P(W_j^x),$$

где N_p^x - количество вариантов состояний информационных полюсов, полюсов, подключённых к шинам питания, и технического состояния многополюсного элемента, приводящих к работоспособному состоянию x -го выходного полюса блока.

Например, вероятность работоспособного состояния выходного полюса блока, матрица состояний которого приведена в таблице 3, находится с помощью выражения

$$P(W^1) = \sum_{j=1}^{15} P(W_j^1) = P(V^{11})[P(Z^{11})P(S_{\Sigma}^1) + P(Z^{10})P(S_{\Sigma}^{10}) + P(Z^{01})P(S_{\Sigma}^{01})] + \\ + P(V^{10})[P(Z^{11}) + P(Z^{10})]P(S_{\Sigma}^{10}) + P(V^{01})[P(Z^{11}) + P(Z^{01})]P(S_{\Sigma}^{01}),$$

где вероятности $P(S_{\Sigma}^1)$, $P(S_{\Sigma}^{10})$, $P(S_{\Sigma}^{01})$ имеют вид:

$$P(S_{\Sigma}^1) = P(S^{11}) + P(S^{10}) + P(S^{01}),$$

$$P(S_{\Sigma}^{10}) = P(S^{11}) + P(S^{10}), \quad P(S_{\Sigma}^{01}) = P(S^{11}) + P(S^{01}).$$

Показатели надёжности системы, содержащей многополюсные элементы, определяются путём последовательного расчёта вероятностей работоспособных состояний выходных полюсов блоков, находящихся на более высоком иерархическом уровне. Исходными данными для расчёта являются вероятности работоспособных состояний выходных полюсов блоков, находящихся на нижестоящем иерархическом уровне, вероятности работоспособных состояний шин питания и вероятности безотказной работы резервированных каналов многополюсного элемента.

При использовании шинной структуры построения системы отдельные многополюсные элементы, расположенные на различных иерархических уровнях, могут быть связаны между собой не только по информационным и управляющим шинам, но и по шинам питания. Тогда математическая модель (M_g) надёжности элемента, находящегося на g -ом иерархическом уровне и связанном по шинам питания с элементами, расположенными на других уровнях иерархии, имеет вид

$$M_g = \begin{cases} \{V_1, Z, S_1, Y_1, j_1\} & \text{при } g = 1 \\ \{Y_{g-1}, S_g, Y_g, j_g\} & \text{при } g = \overline{2, G} \end{cases}, \quad (3)$$

где j_1 - отображение множества $[V_1 \times Z] \times S_1$ в множество Y_1 :

$$[V_1 \times Z] \times S_1 \xrightarrow{j_1} Y_1,$$

j_g - отображение множества $Y_{g-1} \times S_g$ в множество Y_g :

$$Y_{g-1} \times S_g \xrightarrow{j_g} Y_g,$$

G - количество иерархических уровней системы.

С помощью математической модели (3) формируется соответствующая таблица состояний, реализующая отображение j_g , где $g = \overline{1, G}$. На основании полученной таблицы находятся вероятности работоспособных состояний выходных полюсов:

$$P(W_g^x) = \sum_{j=1}^{N_{g,p}^x} P(W_{g,j}^x) = \begin{cases} \sum_{j=1}^{N_{g,p}^x} P(V_g^a) P(Z^b) P(S_g^g) & \text{при } g = 1 \\ \sum_{j=1}^{N_{g,p}^x} P(Y_{g-1}^a) P(S_g^g) & \text{при } g = \overline{2, G} \end{cases},$$

где индексы α , β и γ удовлетворяют отображению

$$[V_g^a \times Z^b] \times S_g^g \xrightarrow{w_g^x} W_{g,j}^x \text{ при } g = 1 \text{ или } Y_{g-1}^a \times S_g^g \xrightarrow{w_g^x} W_{g,j}^x \text{ при } g = \overline{2, G}.$$

Например, матрица состояний мажоритарного элемента типа «два из трёх», полученная в соответствии с отображением $[V_1^a \times Z^b] \times S_1^g \xrightarrow{w_1^1} W_{1,j}^1$, имеет вид, приведённый в таблице 4.

Таблица 4

| V | Z | S | | | |
|------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | S ¹¹¹ | S ¹¹⁰ | S ¹⁰¹ | S ⁰¹¹ |
| V ¹¹¹ | Z ¹¹¹ | W ₁ ¹ | W ₁₁ ¹ | W ₁₅ ¹ | W ₁₉ ¹ |
| | Z ¹¹⁰ | W ₂ ¹ | W ₁₂ ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ¹⁰¹ | W ₃ ¹ | F ¹ | W ₁₆ ¹ | F ¹ |
| | Z ⁰¹¹ | W ₄ ¹ | F ¹ | F ¹ | W ₂₀ ¹ |
| V ¹¹⁰ | Z ¹¹¹ | W ₅ ¹ | W ₁₃ ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ¹¹⁰ | W ₆ ¹ | W ₁₄ ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ¹⁰¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ⁰¹¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| V ¹⁰¹ | Z ¹¹¹ | W ₇ ¹ | F ¹ | W ₁₇ ¹ | F ¹ |
| | Z ¹¹⁰ | F ¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ¹⁰¹ | W ₈ ¹ | F ¹ | W ₁₈ ¹ | F ¹ |
| | Z ⁰¹¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| V ⁰¹¹ | Z ¹¹¹ | W ₉ ¹ | F ¹ | F ¹ | W ₂₁ ¹ |
| | Z ¹¹⁰ | F ¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ¹⁰¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ | F ¹ |
| | Z ⁰¹¹ | W ₁₀ ¹ | F ¹ | F ¹ | W ₂₂ ¹ |

Вероятность работоспособного состояния выходного полюса этого блока на основании таблицы 4 с учётом вероятности безотказной работы переключающего устройства ($P_{\text{ПВ}}$) рассчитывается по формуле

$$P(W^1) = P_{\text{ПВ}} \sum_{j=1}^{22} P(W_j^1) =$$

$$= P_{\text{ПВ}} [P(V^{111})P(W^1/V^{111}) + P(V^{110})P(W^1/V^{110}) + P(V^{101})P(W^1/V^{101}) + P(V^{011})P(W^1/V^{011})],$$

где условные вероятности

$P(W^1/V^{111})$, $P(W^1/V^{110})$, $P(W^1/V^{101})$ и

$P(W^1/V^{011})$ имеют следующий вид:

$$P(W^1/V^{111}) = P(Z^{111})P(S_{\Sigma}) + P(Z^{110})P(S_{\Sigma}^{110}) + P(Z^{101})P(S_{\Sigma}^{101}) + P(Z^{011})P(S_{\Sigma}^{011}),$$

$$P(W^1/V^m) = P(Z_{\Sigma}^m)P(S_{\Sigma}^m),$$

$$P(S_{\Sigma}) = P(S^{111}) + P(S^{110}) + P(S^{101}) + P(S^{011}),$$

$$P(S_{\Sigma}^m) = P(S^{111}) + P(S^m),$$

$$P(Z_{\Sigma}^m) = P(Z^{111}) + P(Z^m), \quad m = 110, 101, 011.$$

Если информационные полюсы мажоритарного элемента типа «два из трёх» соединены с выходными полюсами блока нижестоящего уровня, у которого полюсы питания подключены к трём резервированным шинам питания, связанным также с полюсами питания мажоритарного элемента, то матрица состояний в соответствии с отображением $Y_1^a \times S_2^g \xrightarrow{w_2^1} W_{2,j}^1$ принимает вид, показанный в таблице 5.

Таблица 5

| Y_1 | S_2 | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | S_2^{111} | S_2^{110} | S_2^{101} | S_2^{011} |
| Y_1^{111} | W_1^1 | W_5^1 | W_7^1 | W_9^1 |
| Y_1^{110} | W_2^1 | W_6^1 | F^1 | F^1 |
| Y_1^{101} | W_3^1 | F^1 | W_8^1 | F^1 |
| Y_1^{011} | W_4^1 | F^1 | F^1 | W_{10}^1 |

Вероятность работоспособного состояния выходного полюса мажоритарного элемента находится в этом случае из выражения

$$P(W_2^1) = P_{\text{ПВ}} \sum_{j=1}^{10} P(W_{2,j}^1) = P_{\text{ПВ}} [P(Y_1^{111})P(S_{2,\Sigma}) + P(Y_1^{110})P(S_{2,\Sigma}^{110}) + P(Y_1^{101})P(S_{2,\Sigma}^{101}) + P(Y_1^{011})P(S_{2,\Sigma}^{011})],$$

где вероятности работоспособных состояний резервированных выходных полюсов первого мно-

гополюсного элемента и резервированных каналов первого ($u=1$) и мажоритарного ($u=2$) элементов рассчитываются по формулам:

$$P(Y_1^{111}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_{1,\Sigma}),$$

$$P(Y_1^{110}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_1^{110}) + [P(V_1^{111})P(Z^{110}) + P(V_1^{110})P(Z_{\Sigma}^{110})]P(S_{1,\Sigma}^{110}),$$

$$P(Y_1^{101}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_1^{101}) + [P(V_1^{111})P(Z^{101}) + P(V_1^{101})P(Z_{\Sigma}^{101})]P(S_{1,\Sigma}^{101}),$$

$$P(Y_1^{011}) = P(V_1^{111})P(Z^{111})P(S_1^{011}) + [P(V_1^{111})P(Z^{011}) + P(V_1^{011})P(Z_{\Sigma}^{011})]P(S_{1,\Sigma}^{011}),$$

$$P(S_{u,\Sigma}) = P(S_u^{111}) + P(S_u^{110}) + P(S_u^{101}) + P(S_u^{011}), \quad P(S_{u,\Sigma}^m) = P(S_u^{111}) + P(S_u^m), \quad u=1, 2,$$

$$m=110, 101, 011.$$

Пример. Требуется рассчитать вероятность работоспособного состояния выходного полюса элемента, представляющего собой мажоритарное соединение (типа «два из трёх») трёх плат микропроцессорного управления (ПМУ) блока управления стрелками (БУС), который входит в состав системы обеспечения безопасности и автоматизированного управления движением поездов метрополитена [3]. Структурная схема блока управления стрелками показана на рисунке 1.

Каждая плата ПМУ подключена к одной из трёх резервированных информационных шин и одной из трёх резервированных шин питания. Выходы плат ПМУ соединены с помощью плат переключения каналов (ППК) с входными (ВХ) и выходными (ВЫХ) каскадами. Время функционирования блока установлено равным 7300 часов.

Исходными данными для расчёта аналитико-табличным методом являются вероятности работоспособных состояний платы ПМУ ($P_{\text{ПМУ}} = 0,9982122$), платы переключения каналов ($P_{\text{ППК}} = 0,9999896$), резервированного полюса питания ($P_{\text{ПП}} = 0,9939483$) и резервированного информационного полюса ($P_{\text{ПИ}} = 0,99110951$). Результаты расчёта представлены в таблице 6, в которой использованы ранее введённые обозначения.

Таблица 6

| Вероятность состояния | Значение вероятности | Вероятность состояния | Значение вероятности |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| $P(S^{111})$ | 0,99464618 | $P(Z_{\Sigma}^{110})$ | 0,98793322 |
| $P(S^{110})$ | 0,00178141 | $P(Z_{\Sigma}^{101})$ | 0,98793322 |
| $P(S^{101})$ | 0,00178141 | $P(Z_{\Sigma}^{011})$ | 0,98793322 |
| $P(S^{011})$ | 0,00178141 | $P(V^{111})$ | 0,97356496 |
| $P(S_{\Sigma})$ | 0,99999042 | $P(V^{110})$ | 0,00873311 |
| $P(S_{\Sigma}^{110})$ | 0,99642759 | $P(V^{101})$ | 0,00873311 |
| $P(S_{\Sigma}^{101})$ | 0,99642759 | $P(V^{011})$ | 0,00873311 |
| $P(S_{\Sigma}^{011})$ | 0,99642759 | $P(W^1 / V^{111})$ | 0,99981710 |
| $P(Z^{111})$ | 0,98195455 | $P(W^1 / V^{110})$ | 0,98440392 |
| $P(Z^{110})$ | 0,00597867 | $P(W^1 / V^{101})$ | 0,98440392 |
| $P(Z^{101})$ | 0,00597867 | $P(W^1 / V^{011})$ | 0,98440392 |
| $P(Z^{011})$ | 0,00597867 | $P(W^1)$ | 0,99916720 |

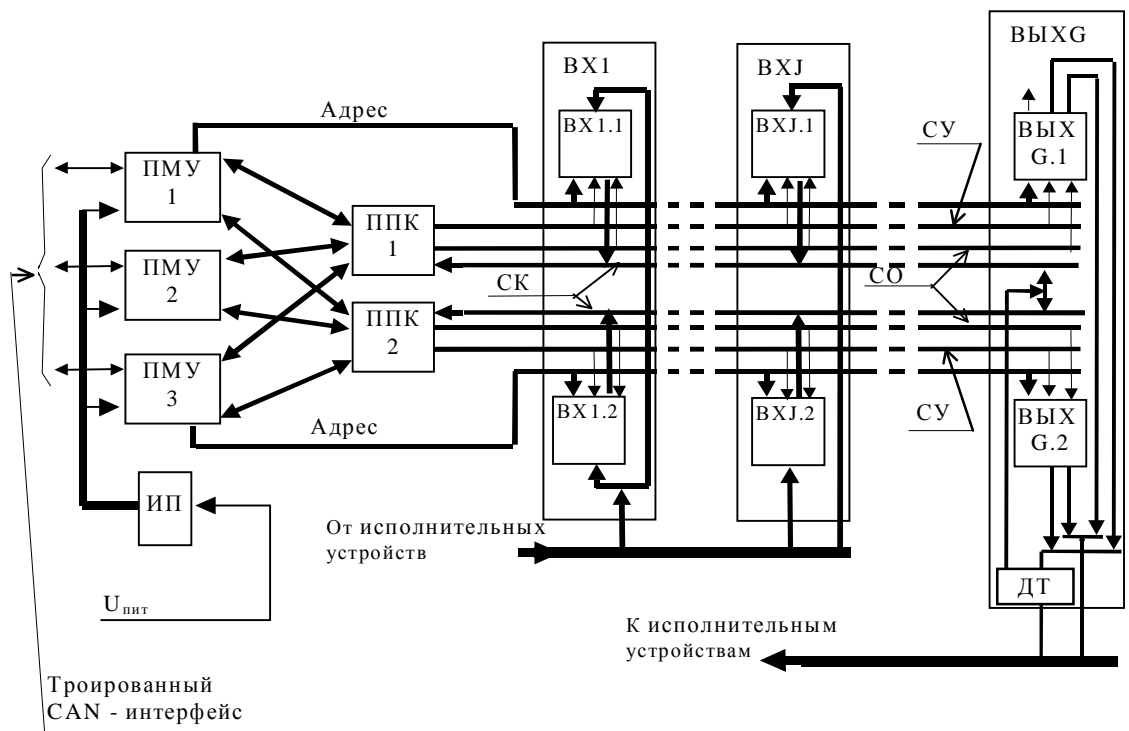
Таким образом, вероятность работоспособного состояния выходного полюса элемента, представляющего собой мажоритарное соединение (типа «два из трёх») трёх плат контроллеров, составляет $P = 0,9991672$.

При расчётах показателей надёжности систем с использованием аналитико-табличного метода возникает необходимость формирования таблиц состояний для всех блоков, входящих в систему. Поэтому такой расчёт, выполняемый впервые, вызывает определённые трудности. Однако наличие таблиц состояний для большинства применяемых в настоящее время электронных компонентов, а также опыт, приобретённый при оценивании надёжности с помощью этого метода, позволяет в дальнейшем успешно решить возникающие проблемы.

Аналитико-табличный метод может быть использован при оценивании показателей надёжности сложных информационно-управляющих комплексов, в том числе интеллектуальных систем управления объектами повышенной опасности.

Литература

1. Надёжность технических систем: Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
2. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска: Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Дёминой. Под общ. Ред. В.С. Сыромятникова. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
3. Антонов Ю.В., Белов В.П., Голяков А.Д. и др. Надёжность и безопасность информационно-управляющих систем (методы оценивания и контроля). – С-Пб.: ОАО «НИИ ТМ», 2004. – 326 с.



- | | |
|---|--------------------------|
| ДТ - датчик тока | СК - контрольные сигналы |
| ИП - источник питания | СО - сигналы отключения |
| ППК - плата переключения каналов | СУ - сигналы управления |
| ПМУ - плата микропроцессорного управления | |
| ВХ – входной каскад | |
| ВЫХ – выходной каскад | |

Рисунок 1. Структурная схема блока управления стрелками