

6
А 34

Академия Наук Латвийской ССР

Объединенный Совет Отделения физико-технических наук

На правах рукописи

ЯДИНА

Валентина Федоровна

ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПРАВНОСТИ КОНЕЧНОГО
АВТОМАТА

(05.13.01. Техническая кибернетика
и теория информации)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рига, 1973

Академия Наук Латвийской ССР
Объединенный Совет Отделения физико-технических наук

На правах рукописи

ЯДИНА

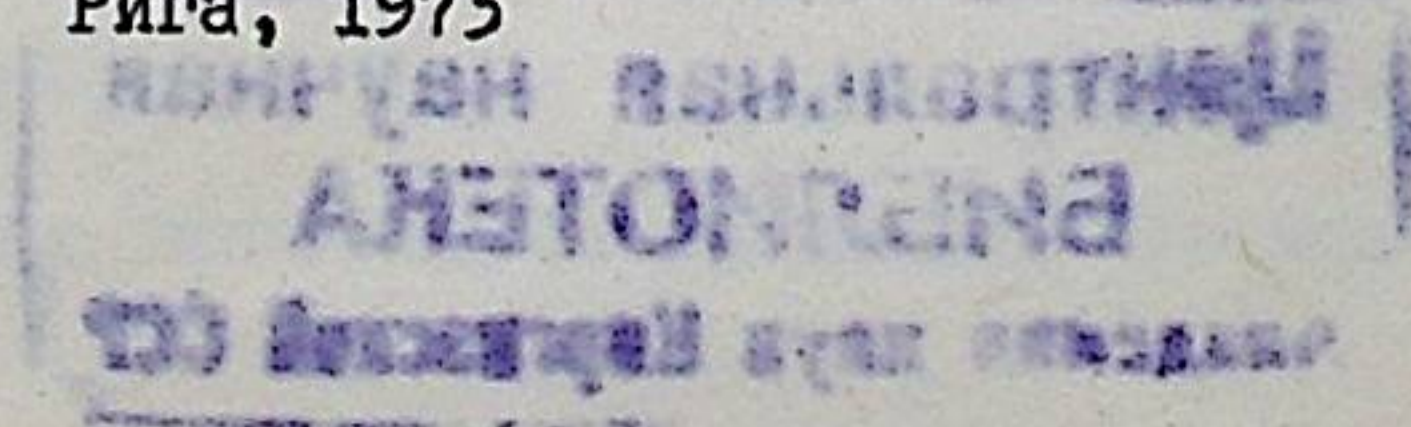
Валентина Федоровна

ПРИБЛИЖЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСПРАВНОСТИ КОНЕЧНОГО
АВТОМАТА

/05.13.01. Техническая кибернетика
и теория информации/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рига, 1973



Работа выполнена в Институте электроники и вычислитель-
ной техники Академии наук Латвийской ССР.

Научный руководитель -
кандидат технических наук, доцент А.Н.СКЛЯРЕВИЧ.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор А.М.ПОЛОВКО,
кандидат технических наук Н.Ф.КАММОЗЕВ.

Ведущая организация определена решением Объединенного
Совета Отделения физико-технических наук АН Латвийской ССР

Автореферат разослан " 20 " февраля 1973 г.

Защита диссертации состоится " II " апреля 1973 г.
на заседании Объединенного Совета Отделения физико-техничес-
ких наук АН Латвийской ССР /г.Рига, ул.Тургенева, 19/.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной
библиотеке АН Латвийской ССР /г.Рига, ул. Коммунальная, 4/.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

М.ЗАКИС

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

Проблема надежности технических систем относится к числу основных проблем, выдвинутых на первый план современным развитием техники. Для обеспечения большой надежности функционирования системы учет требований по надежности должен осуществляться на всех этапах ее создания: при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

Профилактика систем в процессе их эксплуатации связана с обнаружением накопившихся неисправностей - с диагностикой состояния системы. Следовательно, проблемы надежности и диагностики необходимо рассматривать в непосредственной связи. В частности, рационально искать пути использования методов диагностики при оценке надежности функционирования системы.

Возможность связи методов оценки точности и надежности следует, например, из того, что определение показателей надежности конечного автомата, учитывающих его структуру и возможность появления комплексов неисправностей предполагает отыскания всего множества переходов, при которых автомат срабатывает неправильно. Тоже множество переходов имеет значение при установлении проверяющих и диагностических последовательностей тестов.

Задачи контроля включают в себя не только построение последовательности тестов, проверяющих одиночные или кратные неисправности в автомате, но определение проверяющих функций для заданного автомата, проверяющих возможностей тестов и т.д. Комплексное решение этих задач немыслимо без применения современных ЭЦВМ. Но во многих случаях стоимость программирования может значительно превышать стоимость не-

посредственного решения задачи на ЭЦВМ. Поэтому важное значение имеет разработка библиотеки программ для решения задач названного класса.

Среди работ, посвященных вопросам надежности конечных автоматов, особо следует отметить те, в которых анализ надежности производится с учетом возможности накопления неисправностей, не приводящих к немедленному отказу автомата. Основными особенностями такого анализа является следующее.

1. Учитывается структура автомата, функциональные связи его элементов; это позволяет приблизить получаемые показатели надежности к реальным.

2. В рамках этого метода конкретным становится смысл профилактических мероприятий: так как в процессе работы автомата накапливаются неисправности, то целесообразно, не дожидаясь отказа, периодически производить их устранение.

3. Организация диагностики функционирующих автоматов также целесообразна лишь при условии возможности появления неисправностей, непосредственно не приводящих к отказу. Если возможны лишь два состояния автомата /функционирование и отказ/, то нет необходимости в диагностике функционирующего автомата, т.к. он работает лишь при полной исправности.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении приводится обзор основных работ, посвященных методу анализа надежности систем, учитывающему накопление неисправностей, методам проверки логических автоматов и дается обоснование общей постановки задачи.

Во многих работах, посвященных вопросам анализа надеж-

ности логических автоматов, надежность определяется с учетом сбоев /работы Левина В.И., Цуладзе Ю.Л./, функциональных состязаний /работы Равича В.В., Цветковой Э.Н./, отказов /работы Антошина Р.К., Фленнери У.А., Рейха И.И./.

Формула для определения функции надежности логического автомата, зависящей от интенсивности появления неисправности в автомате и от интенсивности отказа автомата с этой неисправностью, получена Цветковой Э.Н. Но наиболее полный и подробный анализ метода оценки надежности систем с накоплением неисправностей проведен Скляревичем А.Н. Так как условия, при которых имеет место накопление неисправностей, отчетливо проявляются при анализе надежности конечных автоматов, общие методы анализа систем с накоплением неисправностей применяются им для определения функции надежности асинхронного автомата. Эти методы были положены в основу данной диссертации.

Формулы для точного расчета функции надежности конечного автомата с учетом накопления неисправностей громоздки даже для решения на ЭЦВМ. Поэтому необходима разработка приближенных методов, обеспечивающих достаточную точность. Метод расчета функции надежности конечного автомата с учетом возможных неисправностей в его структуре предполагает, что известна такая величина, как интенсивность отказа автомата $\mu_{i_1 \dots i_k}$ при наличии в нем комплекса $i_1 \dots i_k$ неисправностей. Эта характеристика может быть получена путем решения системы рекуррентных соотношений при условии, что задан список возможных неисправностей автомата. Но установить характеристику μ можно значительно проще, если воспользоваться методами логического контроля автоматов. С помощью

этих методов могут быть определены опасные состояния, на которых автомат срабатывает неверно при появлении неисправностей. В настоящее время существует много различных методов поиска проверяющих и диагностических тестов - это блочный метод, при котором в каждом следующем тесте в проверку включается небольшой объем дополнительных схем, метод, использующий таблицы функций неисправностей, метод случайного поиска, полного перебора входных состояний, структурно-логический метод кодирования схемы в виде матриц контролируемых цепочек, структурный метод и ряд других. При решении задачи использования методов логического контроля для определения показателей надежности конечного автомата в данной работе применялся структурный метод, позволяющий с помощью анализа схемы автомата синтезировать проверяющие последовательности, определять проверяющие функции и диагностические возможности тестов. Метод основывается на аналитическом аппарате и дает строгое обоснование получаемым результатам. Он был использован в качестве теоретической базы построения алгоритмов для создания библиотеки программ анализа логических автоматов, позволяющий машинным способом решать некоторые задачи надежности и проверки этих автоматов.

В первой главе излагается метод приближенного расчета функции надежности конечного автомата с учетом возможного накопления неисправностей, не приводящих к его немедленному отказу. При определении функции надежности автомата с учетом случайности времени его функционирования от момента возникновения неисправности до отказа предполагается, что

1, логические функции, реализуемые исправным автоматом известны и неизменны во времени;

2. динамические части тактов малы, анализируются только статические части ;
3. под нулевым тактом понимается такт от момента включения автомата до первого изменения входного состояния ;
4. неисправности появляются независимо друг от друга, сказываются только после такта их появления и не устраняются;
5. интенсивности появления неисправностей неизменны во времени; такты работы автомата одинаковы по длительности;
6. известно начальное распределение входных состояний автомата, вероятности неправильного осуществления возможных переходов при различных комплексах неисправностей.

Функция надежности автомата при этих предположениях представляется в виде

$$P(n) = P^{(0)}(n) + \sum_{i_1=1}^l P^{(i_1)}(n) + \dots + \sum_{i_1, \dots, i_k=1}^{l'} P^{(i_1, \dots, i_k)}(n), \quad /1/$$

где

$l_{(i_1, \dots, i_k)}$ - число возможных неисправностей,
 $P^{(i_1, \dots, i_k)}(n)$ - безусловные вероятности правильной работы автомата в течение n тактов при накоплении комплекса i_1, \dots, i_k неисправностей.

Если обозначить $\vec{P}(n)$ матрицу-строку вероятностей правильных переходов автомата и записать

$$\vec{P}(n) = \vec{P}^{(0)}(n) + \sum_{i_1=1}^l \vec{P}^{(i_1)}(n) + \dots + \sum_{i_1, \dots, i_k=1}^{l'} \vec{P}^{(i_1, \dots, i_k)}(n), \quad /2/$$

то выражения для $P^{(i_1, \dots, i_k)}(n)$ можно представить в виде :

$$P^{(i_1, \dots, i_k)}(n) = \sum_{j=1}^k P_j^{(i_1, \dots, i_k)}(n), \quad /3/$$

где $P_j^{(i_1 \dots i_l)}(n)$ - элементы матрицы-строки. $\bar{P}(n)$.
 Для облегчения расчета функции $P(n)$ воспользуем-
 ся Z -изображением. В области Z -изображений выра-
 жению /2/ соответствует выражение

$$\bar{V}(z) = \bar{V}^{(0)}(z) + \sum_{i_1=1}^l \bar{V}^{(i_1)}(z) + \dots + \sum_{i_1 \dots i_l=1}^l \bar{V}^{(i_1 \dots i_l)}(z) \quad , \quad /4/$$

где

$$\bar{V}^{(i_1 \dots i_l)}(z) = b_{i_1} \dots b_{i_l} \bar{A} \bar{P}^{(0)} \bar{W}^{(0)} \left(\frac{z}{A} \right) \bar{W}^{(i_1)} \left(\frac{z}{A} \right) \dots \bar{W}^{(i_1 \dots i_l)} \left(\frac{z}{A} \right) \quad /5/$$

и индекс " / " при знаках суммирования указывает на допусти-
 мость лишь при различных значениях, относящихся к сумме ин-
 дексов i .

В формуле /5/ приняты следующие обозначения:

1. b_i - интенсивность плавания i -ой по виду неис-
 правности на такте:

$$b_i = \frac{1-a_i}{a_i} \quad , \quad a_i = e^{-\lambda_i} \quad , \quad A = \prod_{i=1}^l a_i$$

2. $\bar{P}^{(0)}$ - матрица-строка начального распределения
 входных состояний автомата; ее i -й столбец равен вероятнос-
 ти $\bar{P}^{(0)}$ нахождения автомата в момент включения в i -ом состоянии;

3.

$$\bar{W}^{(i_1 \dots i_l)}(z) = -z [\bar{R}^{(i_1 \dots i_l)} - z \bar{E}]^{-1} \quad /6/$$

где $\bar{R}^{(i_1 \dots i_l)}$ - матрица вероятностей правильных переходов
 из одного состояния в другое за один такт при наличии в ав-
 томате нарушений $i_1 \dots i_l$;

\bar{E} - единичная матрица.

Индекс "-I" обозначает матрицу, обратную заключенной

в скобке.

Расчет функции надежности конечного автомата по точ-
 ной формуле /4/ сводится к отысканию оригиналов характерис-
 тических матриц /6/ и их произведений. Это связано с трудо-
 емкими операциями определения алгебраических дополнений
 элементов этих матриц и нахождения характеристических чисел.
 Для упрощения расчетов предлагается метод приближенного оп-
 ределения функции надежности конечного автомата, используя

I. свойство неособенных матриц

$$\bar{A}^{-1} \bar{B}^{-1} = \overline{AB}^{-1} \quad , \quad /7/$$

позволяющее сравнительно просто найти произведение обратных
 матриц; соответственно вместо /5/ получаем выражение

$$\bar{V}^{(i_1 \dots i_l)}(z) = (-1)^{l+1} \frac{a_{i_1}^{l-1} a_{i_2}^{l-2} \dots a_{i_l}}{A^l} b_{i_1} \dots b_{i_l} z^{l+1} \bar{D}^{(i_1 \dots i_l)}(z) \quad /8/$$

где

$$\bar{D}^{(i_1 \dots i_l)}(z) = \bar{P}^{(0)} \bar{C}^{(i_1 \dots i_l)-1}(z) \quad /9/$$

$$\bar{C}^{(i_1 \dots i_l)}(z) = \left[\bar{R}^{(i_1 \dots i_l)} - \frac{a_{i_1} \dots a_{i_l}}{A} z \bar{E} \right] \left[\bar{R}^{(i_1 \dots i_{l-1})} - \frac{a_{i_1} \dots a_{i_{l-1}}}{A} z \bar{E} \right] \dots \left[\bar{R}^{(i_1)} - \frac{z}{A} \bar{E} \right] \quad /10/$$

2. введение понятия матрицы $\bar{C}^{(j)}$, родственной
 данной матрице \bar{C} , кроме элементов j -го столбца
 /равных I/.

Свойство этой матрицы, определяемое формулой

$$\sum_{j=1}^k D_j = \frac{1}{|C|} \sum_{j=1}^k P_j |C^{(j)}| \quad /II/$$

позволяет при отыскании суммы всех элементов произведения матрицы-строки \overline{P} и обратной матрицы C^{-1} /выражение 9/ вычислить лишь два определителя, которые отличаются один от другого единичными элементами в j -ом столбце. Такой способ наиболее рационален, т.к. при отыскании обратной матрицы необходимо найти K^2 алгебраических дополнений элементов данной матрицы, каждое из которых выражается определителем / $K-1$ /-го порядка. С учетом выражений /9/-/II/

z - изображение вероятности правильной работы автомата при условии накопления во время работы комплекса нарушений $i_1 \dots i_e$ можно представить в виде

$$V^{(i_1 \dots i_e)}(z) = (-1)^{L+1} \frac{a_{i_1} \dots a_{i_e} b_{i_1} \dots b_{i_e} z^{L+1}}{A^e} \frac{\sum_{j=1}^k P_j^{(0)} |C^{(i_1 \dots i_e)^{(j)}}(z)|}{|C^{(i_1 \dots i_e)}(z)|} \quad /I2/$$

Последнее выражение не содержит обратных матриц и поэтому их отыскание при вычислении изображения $V^{(i_1 \dots i_e)}(z)$ излишне.

Другое свойство матриц $\overline{A}_1^{(j)}, \overline{A}_2^{(j)}, \dots, \overline{A}_r^{(j)}$, родственных кроме j -го столбца матрицам $\overline{A}_1, \overline{A}_2, \dots, \overline{A}_r$ при условии, что последние имеют одинаковый порядок и равные в каждой матрице суммы элементов строк, определяется выражением

$$|(\overline{A}_1 \cdot \overline{A}_2 \cdot \dots \cdot \overline{A}_r)^{(j)}| = |\overline{A}_1^{(j)}| |\overline{A}_2^{(j)}| \dots |\overline{A}_r^{(j)}| \quad /I3/$$

Оно используется для приближенного определения вероятности

правильной работы автомата.

Показано, что для малого числа накопившихся нарушений приближенно можно принять

$$\overline{R}^{(i_1 \dots i_e)} - \frac{a_{i_1} \dots a_{i_e}}{A} z \overline{E} \approx \overline{R}^{(0)} - \frac{a_{i_1} \dots a_{i_e}}{A} z \overline{E}$$

В этом случае равенство /I2/ эквивалентно равенству

$$V^{(i_1 \dots i_e)}(z) = (-1)^{L+1} \frac{a_{i_1} \dots a_{i_e} b_{i_1} \dots b_{i_e} z^{L+1}}{A^e}$$

$$\sum_{j=1}^k P_j^{(0)} \frac{|[\overline{R}^{(0)} - \frac{a_{i_1} \dots a_{i_e}}{A} z \overline{E}]^{(j)}|}{|\overline{R}^{(i_1 \dots i_e)} - \frac{a_{i_1} \dots a_{i_e}}{A} z \overline{E}|} \cdot \frac{|[\overline{R}^{(0)} - \frac{z}{A} \overline{E}]^{(j)}|}{|\overline{R}^{(0)} - \frac{z}{A} \overline{E}|} \quad /I4/$$

Обозначив через $\gamma_1^{(i_1 \dots i_e)}$ изменение наибольшего характеристического числа матрицы $\overline{R}^{(0)}$ при накоплении в автомате комплекса неисправностей и учитывая стохастичность последней матрицы, можно показать, что

$$\frac{|(\overline{R}^{(0)} - z \overline{E})^{(j)}|}{|\overline{R}^{(i_1 \dots i_e)} - z \overline{E}|} \approx \frac{1}{1 - \gamma_1^{(i_1 \dots i_e)} - z}$$

и равенство /I4/ переписать в виде:

$$V^{(i_1 \dots i_e)}(z) = b_{i_1} \dots b_{i_e} \frac{z A}{z - A} \cdot \frac{z}{z - \frac{A}{a_{i_1}} (1 - \gamma_1^{(i_1)})} \dots \frac{z}{z - \frac{A}{a_{i_e}} (1 - \gamma_1^{(i_e)})} \quad /I5/$$

Последнее выражение не требует отыскания характеристических чисел матриц $R^{(i_1 \dots i_k)}$ и позволяет более просто перейти в пространство оригиналов.

Принимая во внимание условие об одинаковой длительности тактов работы автомата, формулу (15) можно переписать для систем, работающих в непрерывном времени :

$$W^{(i_1 \dots i_k)}(s) = \frac{\lambda_{i_1} \dots \lambda_{i_k}}{(s+\Lambda)(s+\Lambda+\nu_{i_1}) \dots (s+\Lambda+\nu_{i_1 \dots i_k})}, \quad (16)$$

где

$\Lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i$ - суммарная интенсивность появления неисправностей в элементах;

$$\nu_{i_1 \dots i_k} = \mu_{i_1 \dots i_k} - \lambda_{i_1} - \dots - \lambda_{i_k}$$

Равенство (16) предполагает зависимости

$$\lambda_i = \frac{b_i}{\tau}, \quad \Lambda = \frac{B}{\tau}, \quad \mu_{i_1 \dots i_k} = \frac{\gamma^{(i_1 \dots i_k)}}{\tau}, \quad B = \sum_{i=1}^k b_i$$

С учетом (16) изображение функции надежности автомата представляется в виде:

$$W(s) = \frac{L}{s+\Lambda} + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_{i_1}}{(s+\Lambda)(s+\Lambda+\nu_{i_1})} + \dots + \sum_{i_1 \dots i_n=1}^n \frac{\lambda_{i_1} \dots \lambda_{i_n}}{(s+\Lambda) \dots (s+\Lambda+\nu_{i_1 \dots i_n})} \quad (17)$$

Определение функции надежности конечного автомата по формуле (17) сводится к определению характеристики $\gamma^{(i_1 \dots i_k)}$.

Для ее отыскания выведена формула

$$\gamma^{(i_1 \dots i_k)} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k R_{ij}(1) \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^k R_{ij}(1)},$$

которая представляет из себя отношение множества переходов, на которых автомат срабатывает неправильно при появлении комп-

лекса неисправностей к общему числу входных состояний автомата. Определить множество таких переходов можно при синтезе последовательностей тестов, проверяющих заданные неисправности в заданном элементе автомата.

Согласно полученным формулам эффект, связанный с учетом возможных неисправностей, существенен при большом количестве входов автомата, при больших интенсивностях появления неисправностей при большой длительности тактов. Если эти условия не имеют места, то расчет функции надежности с достаточной точностью может производиться без учета накопления неисправностей. Были выведены оценочные формулы, позволяющие установить до проведения расчета по какой методике его следует проводить - с учетом накопления неисправностей или без него. Критерием необходимости расчета является относительная ошибка, связанная с пренебрежением накопления неисправностей.

Во второй главе показана возможность применения функции различимости для определения показателей надежности комбинационного автомата, в частности, для определения характеристики γ при синтезе проверяющей последовательности для заданной неисправности в заданном элементе автомата.

Показано, что все физические неисправности, сказывающиеся на функции выхода автомата, сводятся к трем видам логических неисправностей, вызывающих появление постоянного единичного сигнала - K_1 , постоянного нулевого сигнала - K_0 и отсутствие инвертирования в элементах типа НЕ, И-НЕ и т.д. - \bar{V} . Отказы в работе автомата вызывают неисправности, в результате возникновения которых значение выходного сигнала автомата с неисправностью отличается от значения вы-

ходного сигнала исправного автомата при каком-то входном состоянии. Поэтому для данного входного состояния неисправности могут быть разделены на активные /обнаруживаемые/ и пассивные /необнаруживаемые/. Кроме одиночных пассивных неисправностей типа K_1 , K_0 в автомате могут появляться и пассивные комплексы, представляющие собой конъюнкции активных неисправностей.

Алгоритм построения проверяющей последовательности для заданной неисправности в заданном элементе автомата основан на использовании некоторых свойств функции различимости $V(z, z_1)$. Под функцией различимости понимается функция, позволяющая различать значения выходных сигналов исправно работающего автомата z и автомата, содержащего комплекс неисправностей z_1 .

Одно из свойств функции $V(z, z_1)$, определяемое выражением

$$V(z, z_1) = V(u_1, u_2) V(l_1, l_2) \quad /18/$$

используется для построения структурной схемы различающего автомата. В выражении /18/ :

$V(u_1, u_2)$ - функция различимости логических схем образования сигналов u_1 и u_2 ;

$u_1(u_2)$ - значение выходного сигнала исправного автомата, если с элемента с возможной неисправностью поступает единичный /нулевой/ сигнал;

$V(l_1, l_2)$ - функция различимости выходных сигналов исправного l_1 и неисправного l_2

элементов.

Очевидно, что для различимой неисправности

$$V(z, z_1) = 1.$$

Это свойство позволяет по единичному выходному сигналу структурной схемы различающего автомата синтезировать последовательность тестов, проверяющую заданную неисправность в заданном элементе автомата.

Приведены алгоритмы построения схем, реализующих функции $V(u_1, u_2)$ и $V(l_1, l_2)$ и определения полной последовательности тестов для установления наличия заданной неисправности.

Такое множество проверяющих последовательностей можно построить для каждой возможной в автомате неисправности. Но для определения факта исправности или неисправности комбинационного автомата совсем не обязательно подавать на его вход полную последовательность проверяющих тестов. Из этой последовательности могут быть удалены избыточные тесты. Под избыточными тестами понимаются такие тесты, удаление которых из полной последовательности не отражается на ее проверяющих способностях.

В третьей главе рассмотрен алгоритм синтеза минимально-достаточных проверяющих последовательностей для бесповторного комбинационного автомата. М Синтез последовательностей осуществляется по методу склеивания тестов для элементов от низших уровней к выходному элементу схемы с учетом характеристик

$$K_{(n)} = \frac{\max(K_{be_1}, K_{be_2})}{K_{be_1} + K_{be_2}} \quad /19/$$

$$K_{(или)} = \frac{K_{b_{e_1}} + K_{b_{e_2}}}{\max(K_{\bar{b}_{e_1}}, K_{\bar{b}_{e_2}})}$$

, /20/

определяющих длину этих последовательностей. В формулах /19/, /20/.

$K_{b_{e_1}}, K_{b_{e_2}}$ - количество тестов, соответствующих единичному сигналу элемента $l_1, (l_2)$;

$K_{\bar{b}_{e_1}}, K_{\bar{b}_{e_2}}$ - количество тестов, соответствующих нулевому выходному сигналу элемента $l_1, (l_2)$.

Для комбинационных автоматов с разветвлением сигналов разработаны два метода получения достаточных последовательностей. Один - предусматривающий получение дополнительных тестов путем обратного анализа отдельных участков схемы автомата. Он позволяет получить последовательность, проверяющую наличие в автомате всех возможных комплексов неисправностей. Другой метод, значительно менее трудоемкий и предусматривающий использование несколько измененных правил склеивания, позволяет получить проверяющую последовательность, обнаруживающую наличие в автомате одиночных неисправностей и основного множества комплексов неисправностей. Особенностью второго метода является то, что получаемая с его помощью последовательность не обнаруживает отдельные комплексы неисправностей, содержащие неисправность вида \bar{K} .

В ряде задач возникает необходимость установления всех видов неисправностей и комплексов неисправностей, обнаруживаемых всеми тестами - определение проверяющих возможностей тестов - функции $d_A(z)$. Метод определения функции $d_A(z)$

предусматривает удаление из выражения для нее пассивных неисправностей и комплексов неисправностей.

Любая цепь автомата может находиться в четырех возможных состояниях N_a -исправность, K_{1a} , K_{0a} , \bar{K}_a . Эти состояния могут быть кодированы символами L_0 и L_1 .

$$\begin{aligned} N_a &= \bar{L}_{0a} \bar{L}_{1a} & K_{1a} &= \bar{L}_{0a} L_{1a} \\ K_{0a} &= L_{0a} \bar{L}_{1a} & \bar{K}_a &= L_{0a} L_{1a} \end{aligned} \quad /21/$$

и любую схему исправного автомата можно представить в виде схемы с возможными неисправностями введением в каждую цепь передачи сигнала операторов R .

$$R_a(x) = x \bar{L}_{0a} + \bar{x} L_{1a} \quad /22/$$

На основании схем исправного автомата и автомата с возможными неисправностями, используя свойства функции различимости, можно построить схему для каждого входного состояния, которая позволит определить функцию $d_A(z)$, представленную в виде

$$d_A(z) = K_{1z} + x N_z + \bar{x} \bar{K}_z \quad , \quad /23/$$

если выходной сигнал z при входном состоянии A в исправном автомате равен 0 и в виде

$$d_A(z) = K_{0z} + \bar{x} N_z + x \bar{K}_z \quad , \quad /24/$$

если он равен 1. Исключив пассивные неисправности и комплексы неисправностей вместо /23/, /24/ получим соответственно

$$d_A(z) = L_{1z} + x \quad /25/$$

$$d_A(z) = L_{oz} + \bar{X}$$

/26/

Чтобы получить рекуррентные соотношения, связывающие автомат в целом с составляющими его подавтоматами, были получены формулы, представляющие функции $d_A(z)$ для элементов И, ИЛИ, НЕ и различных значений входных сигналов этих элементов.

Методика определения функции $d_A(z)$ используется для отыскания опасных состояний, возникающих в автомате при появлении какой-либо неисправности, а следовательно и для характеристики γ . Приведен расчет функции надежности автомата, для которого характеристики γ отыскивались с помощью функции $d_A(z)$. Изложенные алгоритмы были положены в основу создания библиотеки стандартных программ для анализа логических схем - глава четвертая.

Программы, входящие в библиотеку, составлены на языке символического кодирования /ЯСК/ ЭЦВМ Минск-23. В основу создания библиотеки положено следующее.

1. Запись схемы автомата в виде единой кодировочной таблицы.
2. Каждая программа разделена на два вида рабочих блоков:
 - а/ блоки-константы, которые используются для конкретного состояния обрабатываемой информации и не изменяются в процессе работы программы;
 - б/ переменные блоки, которые позволяют оптимальным образом использовать отдельные участки программы для различных состояний обрабатываемой информации; это достигается вве-

дением в них переменных команд - команд-регулирующих и команд-информаторов.

Команды-информаторы /к.и./ могут выполнять любые операции, кроме операции безусловного перехода. Содержание их определяется блоками-константами.

Команды-регулирующие /к.р./ позволяют осуществлять любые переходы внутри переменных блоков, а также выход из них к необходимому блоку-константе.

Библиотека включает в себя:

а. Программу "Схема", которая предназначена для того, чтобы не ограничивать класс автоматов, подлежащих анализу с помощью других программ. Она позволяет перестроить заданную схему автомата, содержащую многоходовые элементы И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ, mod 2 в схему, построенную на базе двухходовых элементов И, ИЛИ и элементов НЕ. Появление дополнительных элементов и соединений между ними и невозможность возникновения в них неисправностей учитывалось при разработке других программ библиотеки. Программа "Схема" позволяет сделать эти программы универсальными.

б. Программы "Альфа" и "Обран" последовательно одна за другой могут быть использованы для отыскания всего множества тестов, на которых автомат срабатывает неправильно /при этом должны быть заданы вид и место неисправности/.

в. Программу "Мидол" - она позволяет получить минимально-достаточную последовательность для бесповторного автомата.

г. Программу "Ветви" - строит достаточную последовательность проверяющих тестов для комбинационного автомата с разветвлением сигналов.

Литература
АВТОМАТЫ

д. Программа "Возмт" предназначена для определения проверяющей функции $d_A(z)$ теста A , не содержащей ни пассивных неисправностей, ни пассивных комплексов неисправностей для этого теста.

е. Программа "Выход" определяет значение выходного сигнала автомата по заданному входному набору.

Программы работают в среднем 4-5 мин. Объем обрабатываемой информации - схемы автоматов, содержащие до 100 двухвходовых логических элементов.

Результаты работы были внедрены в ряде ЦНИИ.

В ы в о д ы

1. Разработан метод приближенного расчета функции надежности конечного автомата, позволяющий получить достаточную точность.

2. Определена методика отыскания верхней границы относительной ошибки, получаемой при расчете функции надежности без учета накопления неисправностей.

3. Показана возможность определения показателей надежности комбинационных автоматов с помощью методов логического контроля.

4. Найдены алгоритмы синтеза проверяющих последовательностей и построения проверяющих возможностей тестов комбинационных схем.

5. Разработана библиотека программ для анализа логических автоматов.

Основные материалы диссертационной работы были доложены на I-ой Республиканской конференции по надежности средств вычислительной техники и автоматики /Северодонецк, 1969/, на I-ой Всесоюзной конференции по автоматизированным системам проектирования вычислительных машин /Киев, 1970/, на II-ом Всесоюзном совещании по теории релейных устройств и конечных автоматов /Рига, 1971/, на научно-технической конференции "Прикладная математика и вычислительная техника" /Саратов, 1971/, на II-ом Всесоюзном семинаре по информационным методам в системах управления, измерения и контроля /Владивосток, 1972/.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. ЯДИНА В.Ф. Интенсивность отказов системы с учетом структурных нарушений. В кн. "Автоматическое управление", изд. "Зинатне", Рига, 1967.
2. СКЛЯРЕВИЧ А.Н., ЯДИНА В.Ф. Метод приближенного определения функции надежности конечного автомата. Автоматика и вычислительная техника. 1968, №6.
3. ЯДИНА В.Ф. Методика оценки необходимости учета накопления нарушений при анализе надежности конечного автомата. Автоматика и вычислительная техника. 1969, №6.
4. ЯДИНА В.Ф. Методика оценки необходимости учета одного из возможных нарушений в автомате при анализе его надежности /общий случай/. Автоматика и вычислительная техника. 1970, №3.
5. ЯДИНА В.Ф. Машинный алгоритм обратного анализа схемы функции различимости. В кн. "Вопросы надежности дискретных автоматов", изд. "Зинатне", Рига, 1970.
6. СКЛЯРЕВИЧ А.Н., ВАНГЕ Х.Л., ЯДИНА В.Ф. Определение проверяющих возможностей тестов автомата при кратных неисправностях. Труды конференции "Прикладная математика и вычислительная техника. Тезисы докладов", Саратов, 1971.

7. СКЛЯРЕВИЧ А.Н., ВАНГЕ Х.Л., ЯДИНА В.Ф. Структурный метод синтеза диагностической последовательности проверяющих тестов. Труды II-ого Всесоюзного совещания по теории релейных устройств и конечных автоматов. Тезисы докладов", Рига, 1971.
8. ЯДИНА В.Ф. Алгоритм определения диагностической функции для проверяющих тестов комбинационного автомата. В кн. "Вопросы синтеза конечных автоматов", изд. "Зинатне", Рига, 1972.
9. СКЛЯРЕВИЧ А.Н., ДЕНИСЕНКО О.С., ЯДИНА В.Ф. Методика определения тестовых программ проверки автоматов. Научный отчет. Рига, 1972.
10. СКЛЯРЕВИЧ А.Н., ДЕНИСЕНКО О.С., ЯДИНА В.Ф. Методика отыскания правил склеивания последовательности контролирующих тестов конечного автомата. Труды I-ого Всесоюзного семинара по информационным методам в системах управления, измерений и контроля. Владивосток, 1972.
11. СКЛЯРЕВИЧ А.Н., ДЕНИСЕНКО О.С., ЯДИНА В.Ф. Структурно-операторная методика проверки конечных автоматов. Тезисы доклада на международном симпозиуме по теме "Теоретические проблемы и системы распознавания образов и ситуаций" в г. Варна, /изд. София/.