

6  
А-25

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ПРИБОРОСТРОЕНИЮ,  
СРЕДСТВАМ АВТОМАТИЗАЦИИ  
И СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИ ГОСПЛАНЕ СССР

АКАДЕМИЯ НАУК

С С С Р

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ  
/ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ/

Е.С.Согомонян

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КОМБИНАЦИОННЫХ И  
НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель -  
ст.н.с., к.т.н. ПАРХОМЕНКО П.П.

Москва, 1965



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ПРИБОРОСТРОЕНИЮ,  
СРЕДСТВАМ АВТОМАТИЗАЦИИ  
И СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИ ГОСПЛАНЕ СССР

АКАДЕМИЯ НАУК  
СССР

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ  
/ТЕХНИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ/

Е.С.Согомонян

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА КОМБИНАЦИОННЫХ И  
НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — профессор В.Д.  
Селевский, ч.т.н. ПАРХОМЕНКО И.П.

~~Москва 1985~~



## В в е д е н и е

Непрерывный рост объемов и сложности различных объектов, используемых в настоящее время в промышленности, науке и технике, выдвигает на первый план задачу обеспечения надежной их работы. Одним из путей поддержания требуемого уровня надежности является контроль исправности объектов и поиск неисправностей в них. Это в одинаковой мере относится к условиям производства, хранения и эксплуатации объектов.

Общую проблему построения системы контроля исправности и поиска неисправностей объекта целесообразно разбить на две задачи. Первой задачей является анализ объекта с целью получения исходных данных для проектирования средств контроля. Выбор или создание средств контроля является второй задачей.

В результате анализа объекта выявляется минимальное множество контрольных точек в объекте для подачи стимулирующих сигналов и с'ема реакций и определяется оптимальная последовательность минимального числа стимулирующих сигналов, подача которых на объект вместе с контролем реакций последнего на них позволяет судить о работоспособности объекта или местах неисправностей в нем.

После того как произведен анализ объекта, можно решать задачу выбора средств контроля, которые обеспечивали бы необходимую скорость, точность, объективность и надежность процесса контроля. В результате решения первой задачи, как правило, получается ряд вариантов. Имеющиеся в распоряжении средства конт-



роля могут существенно повлиять как на выбор, так и на корректировку окончательного варианта.

Для решения задач контроля большинство объектов можно разбить на два класса: непрерывные и дискретные, причем среди последних целесообразно выделять дискретные объекты без памяти /комбинационные устройства/ и дискретные объекты с памятью /конечные автоматы/. Настоящая работа посвящена исследованию и разработке методов анализа непрерывных объектов и комбинационных устройств, а также разработке методов построения универсальных систем контроля.

Общая математическая постановка задачи проверки работоспособности и диагностики комбинационных устройств, для которых выработано логическое описание, дана в работе Чегис И.А. и Яблонского С.В. /1958 г./. Практическое решение этой задачи рассмотрено в указанной работе только применительно к контактным / в основном, двухполюсным/ устройствам, как к наиболее простым. Результатами являются минимальные совокупности наборов значений входных переменных /комбинаций состояний реле/, при которых определяется реакция /значения функции выходного полюса/ устройства в процессе его контроля. В работах Когана И.В. и Глаголева В.В. излагаются методы построения проверяющих и диагностических тестов, короче тривиальных, для различных классов контактных структур. Здесь дается обобщение задачи на комбинационные многовыходные устройства, составленные из любых логических элементов или представляющие собой композиции любых комбинационных подсхем.

Требования практики иногда накладывают ограничения, состоящие в том, что в процессе работы логического устройства на его входы может быть подано только некоторое подмножество множества всех возможных наборов значений входных переменных /входных наборов/. Несмотря на это, необходимо иметь суждение об исправности устройства.

В настоящей работе решается задача нахождения минимальной совокупности подлежащих контролю выходных полюсов и внутренних узлов устройства /при заданном подмножестве подаваемых на устройство входных наборов/, достаточных для ответа на вопрос об исправности устройства или для его диагностики, а также приводятся методы построения проверяющих и диагностических тестов. Решение этой задачи полезно также при нахождении таких неисправностей в устройстве, которые не отличаются на выходах устройства от других неисправностей ни на одном входном наборе.

В работе рассмотрена и другая постановка задачи, заключающаяся в том, что задан набор доступных для контроля выходных полюсов и внутренних узлов устройства и необходимо найти минимальную совокупность входных наборов для осуществления контроля работоспособности и поиска неисправностей в устройстве.

При контроле непрерывных объектов широкое распространение получили допусковые методы контроля, характеризующиеся тем, что заключение о работоспособности объекта или о местонахождении неисправных блоков в нем дается по результатам качествен-



ного контроля значений некоторого множества параметров. Результаты таких замеров в большинстве случаев приводятся к оценкам вида "да-нет", "норма - не норма", "в допуске - не в допуске".

Для решения задачи анализа сложных непрерывных объектов /примером последних, очевидно, могут служить крупные электротехнические или радиоэлектронные комплексы/ необходимо построение математических моделей их структур, которые в той или иной степени отражают свойства объектов, существенные для проведения логического контроля. Изучение свойств этих моделей позволяет установить определенные закономерности поведения объекта в исправном и неисправном состоянии и сформулировать условия выбора рациональных методов контроля.

В работе Клетского, Джонсона и Брйле используется одна из таких моделей. Однако, последняя не формализована, что, по-видимому, отразилось на сложности с точки зрения практической реализации общего алгоритма нахождения допустимого набора проверок для поиска неисправного блока.

Настоящая работа рассматривает методы анализа непрерывных объектов, представляющих совокупность функционально связанных между собой блоков, с целью определения минимального числа точек контроля для проверки работоспособности и поиска неисправных блоков. Анализ проводится на базе представления объекта логической моделью, которая, как предполагается, может быть построена для большинства непрерывных объектов.

Следует указать, что существует общность методов анализа

комбинационных устройств и логических моделей непрерывных объектов. В последнем случае задан единственный входной набор  $1, 1, \dots, 1$ , и задача состоит в отыскании минимальной совокупности выходных полюсов и внутренних узлов модели для решения задачи контроля работоспособности и поиска неисправностей.

Как было отмечено выше, в результате анализа объектов контроля выявляется число необходимых связей между аппаратурой контроля объекта и самим объектом, характер воздействий и реакций и последовательность их подачи и сема. Эти данные позволяют произвести выбор наиболее подходящих средств контроля.

Существующие средства контроля принято делить на внешние и встроенные. В качестве внешних средств контроля в последнее время все большее распространение начинают находить автоматические установки. Однако, эти установки, как правило, представляют собой специализированные устройства, предназначенные для контроля только тех объектов, для которых они спроектированы.

Такой путь автоматизации контроля обладает рядом недостатков, среди которых можно отметить следующие:

I. Разработка специализированной контрольной аппаратуры для новых объектов должна вестись, по крайней мере, одновременно с разработкой объектов контроля. Практически всегда имеет место отставание разработок контрольной аппаратуры, так как окончательно все требования к ней могут быть сформулированы лишь после полной отработки объекта. Это приводит к тому, что



серийное производство новых объектов ставится в зависимость от готовности контрольной аппаратуры, что, естественно, нежелательно.

2. Снятие с производства или эксплуатации какого-либо объекта делает непригодной для дальнейшего использования и соответствующую ему контрольную аппаратуру. Это резко снижает эффективность затрат квалифицированного труда, материалов, времени и денежных средств на разработку и производство аппаратуры контроля.

3. Необходимость частой смены специализированной аппаратуры контроля в ряде случаев препятствует тщательной проработке ее узлов и структуры, что отражается на надежности и достоверности результатов работы аппаратуры контроля.

4. Стоимость специализированной контрольной аппаратуры существенно выше стоимости автоматических проверочных устройств универсального типа.

Универсальные устройства для автоматического контроля либо свободны от перечисленных недостатков специализированной аппаратуры, либо эти недостатки проявляются в значительно меньшей степени. Основными отличительными особенностями универсальной аппаратуры контроля являются:

а/ универсальность, т.е. пригодность одной и той же аппаратуры для проверки не одного, а многих типов или разновидностей контролируемых объектов, что обеспечивается наличием сменной программы работы аппаратуры, а также ее структурой и характеристиками ее узлов и блоков;

б/ унифицированное исполнение почти всех узлов и блоков, обеспечиваемое как структурой аппаратуры контроля, так и схемными решениями по указанным узлам и блокам.

Институт автоматики и телемеханики /технической кибернетики/ работы по созданию универсальной аппаратуры контроля ведет с 1957 года. в содружестве с рядом организаций разработано несколько модификаций такой аппаратуры, испытания которых подтверждают большой экономический эффект от их внедрения. Автор принимал непосредственное участие в этих работах в качестве руководителя группы.

В работе описана структурная схема универсальной системы внешнего автоматизированного контроля, положенная в основу всех разработанных в ИАТ/ТК/ ее модификаций. Приводится метод выбора оптимальной /с точки зрения простоты реализации/ совокупности алгоритмов преобразования физических величин, характеризующих состояние объекта контроля, в цифровую форму.

При контроле сложных объектов особенно трудоемкими являются операции по поиску мест обнаруженных неисправностей. Поэтому задача автоматизации этого этапа контроля является достаточно актуальной. На основании некоторых упоминаний в иностранной технической литературе, не раскрывающих технического существа вопроса, можно предположить, что существующая аппаратура поиска неисправностей является специализированной.

В работе описывается универсальное устройство для поиска неисправных блоков в непрерывных объектах, которое может служить также в качестве индикатора неисправностей, т.е. универ-



сальной встроенной аппаратуры контроля.

Работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

I. Анализ комбинационных многополюсников для контроля работоспособности и поиска неисправностей

Схему комбинационного устройства, в общем случае, можно разбить на ряд подсхем /в частном случае, логических элементов/, которые будем называть блоками устройства. Каждый такой блок имеет свои полюсы, которые могут соединяться с полюсами других блоков. Построенные таким образом схемы называются блочными. Блочные схемы, в которых не накладываются ограничения на свойство направленности действия сигналов в связях между блоками и на свойство разделительности полюсов каждого блока, названы блочными схемами общего вида. Представителями таких многополюсников являются контактные релейные устройства.

Пусть задан комбинационный многополюсник в виде блочной схемы общего вида, реализующий в исправном состоянии на своих  $K$  внутренних узлах и выходных полюсах некоторые функции  $f_0^1, \dots, f_0^K$ , зависящие не более чем от  $n$  переменных. Эти переменные будем называть входными переменными, а набор их значений - входным набором. Все неисправности, возникновение которых возможно в устройстве, можно разделить на неустойчивые /типа сбоя/ и устойчивые /типа отказа/. В работе рассматриваются неисправности последнего типа.

Для анализируемого многополюсника заданы принципиальные схемы блоков, на которых он построен; задан перечень возможных устойчивых неисправностей для каждого блока, а также допустимое число одновременно существующих неисправностей в устройстве  $x/$ . Кроме этого, предполагается, что никакая неисправность в блоке не приводит к изменению значений наборов входных переменных.

Наконец, задан способ проведения контроля, состоящий в том что на многополюсник подаются последовательно во времени входные наборы и проверяются соответствующие каждому набору значения функций выходных полюсов и внутренних узлов.

Пусть анализируемый комбинационный многополюсник состоит из  $\ell$  блоков, в каждом из которых возможна одна из  $m_i$  ( $i = 1, \dots, \ell$ ) неисправностей. Обозначим число различных неисправностей многополюсника через  $g$ .

Исходя из принципиальных схем блоков и физики их работы, определяются функции  $f_j^1, \dots, f_j^K$  ( $j = 1, \dots, g$ ), реализуемые многополюсником на внутренних узлах и выходных полюсах при наличии в нем  $j$ -ой неисправности. Эти функции называются функциями неисправностей.

Функции неисправностей помещаются в общую таблицу функций неисправностей. В этой таблице слева приведены и пронумерованы все  $2^n$  входных наборов /строк/, а справа даны для каждого входного набора значения функций внутренних узлов и выходных полюсов многополюсника. Всего в таблице имеется  $g \cdot K$  функций

$x/$  Неисправность в устройстве называется единичной, если в каком-то одном его блоке существует одна неисправность из заданного для него перечня неисправностей.



неисправностей.

По этой таблице находятся номера входных наборов, на которых функция неисправности  $f_t^s$  ( $t = 1, \dots, g$ ) отличается от функции  $f_0^s$  /по всем  $s = 1, \dots, K$  /. Результаты такого анализа сводятся в таблицу, которая названа: таблицей тестов. Число столбцов таблицы тестов равно числу узлов и полюсов многополюсника ( $k$ ), а число строк равно числу различных неисправностей ( $g$ ). В каждой клетке  $t, s$  этой таблицы выписываются через знак дизъюнкции номера входных наборов, на которых  $t$ -ая ( $t \in \{1, \dots, g\}$ ) неисправность изменяет функцию  $s$ -ого узла ( $s \in K, \text{ где } K = \{1, \dots, k\}$ ). Заполнение клетки прочерком означает, что  $t$ -ая неисправность не изменяет функцию  $s$ -го узла ни на одном входном наборе.

Описание процедуры заполнения таблицы тестов достаточно трудоемка и требует построения общей таблицы функций неисправностей. В случае, когда в многополюснике возможны только единичные неисправности, процедуру построения таблицы тестов можно упростить.

В работе рассмотрен метод построения таблиц тестов для многополюсников, описываемых блочными схемами общего вида, при условии существования в них единичных неисправностей.

Если многополюсник построен на бесконтактных логических элементах, то он часто описывается следующей блочной схемой. Все внешние полюсы каждого блока разбиваются на входные и выходные таким образом, что никакие изменения сигналов на выходных полюсах не приводят к изменению сигналов на входных полю-

сах данного блока, если рассматривать каждый блок в отдельности. Входные полюсы блоков обозначаются в виде входящих стрелок, выходные полюсы - в виде выходящих стрелок. Предполагается, что в схеме отсутствуют петли, и, кроме того, никакая неисправность в блоке не влияет на значения сигналов на его входах. Выходные полюсы блоков не могут соединяться между собой. Входные полюсы блоков воспринимают сигналы либо с выходов других блоков, либо с источников входных воздействий /входные переменные/. Будем называть такие блочные схемы ориентированными, без петель. В работе рассматривается упрощенный метод построения таблицы тестов для указанного класса схем.

Заполненная таблица тестов является достаточным материалом для решения поставленных задач минимизации тестов и диагностики.

Таблица тестов обладает следующими свойствами:

а/ Если в таблице тестов существует строка, сплошь содержащая прочерки, то неисправность, отвечающая этой строке, не обнаруживается ни на одном узле многополюсника.

б/ Если в таблице тестов существует столбец, сплошь содержащий прочерки, то на узле, отвечающем этому столбцу, не обнаруживается ни одна неисправность.

в/ Если несколько клеток, принадлежащих одному и тому же столбцу, содержат одинаковые совокупности номеров входных наборов, то неисправности, отвечающие строкам этих клеток, не отличимы между собой на узле, отвечающем данному столбцу.

В соответствии с этими свойствами неисправность названа обнаруживаемой, если в строке, отвечающей этой неисправности,



существует хотя бы одна клетка, не содержащая прочерка.

Пусть задано некоторое допустимое множество входных наборов, которые разрешается подавать в процессе проверки многополюсника. При этом условии дано решение задачи о нахождении минимального числа узлов, контроль значений функций которых позволяет судить об отсутствии неисправностей и метод построения для этих узлов минимального проверяющего теста.

Рассмотрена задача о нахождении минимальной совокупности входных наборов для осуществления контроля работоспособности, если задан набор доступных для контроля выходных полюсов и внутренних узлов многополюсника.

При решении задач диагностики считается, что в результате контроля работоспособности установлен факт наличия в многополюснике неисправности /при этом предполагается, что эта неисправность принадлежит заданному перечню/.

Две неисправности отличимы между собой, если в строках таблицы тестов, отвечающих этим неисправностям, существует хотя бы одна пара клеток, принадлежащих одному и тому же столбцу, которые содержат неодинаковые совокупности номеров входных наборов. В противном случае эти неисправности называются неотличимыми между собой.

Рассмотрено решение задачи диагностики в случае, когда задано допустимое множество входных наборов. Для этого определяется минимальное число узлов многополюсника, контроль

значений функций в которых позволяет установить вид неисправности в многополюснике /из числа неисправностей, обнаруживаемых на заданном допустимом множестве входных наборов/.

Дан алгоритм построения минимальных диагностических тестов для минимальных совокупностей узлов.

Рассмотрено решение задачи диагностики в случае, когда задано множество доступных для контроля выходных полюсов и внутренних узлов схемы.

## 2. Анализ непрерывных объектов для контроля работоспособности и поиска неисправностей

Пусть объект контроля представлен в виде функциональной схемы, состоящей из  $N$  связанных между собой блоков. х/

Выходные сигналы /параметры/ каждого блока зависят от входных параметров. Если какой-либо входной /выходной/ сигнал характеризуется несколькими параметрами, то каждый из этих параметров представляется отдельным входом/выходом/.

Предполагается, что из множества значений каждого входного и выходного параметра всегда можно выделить подмножество их допустимых значений. Значение входа или выхода блока назы-

---

х/ Вопрос об оптимальном разбиении объекта на блоки представляет собой самостоятельную задачу, решение которой не является целью работы. Критерий оптимальности должен включать в себя, по-видимому, такие показатели, как сменность блоков, удобство измерения выходных параметров блоков, конструктивные соображения и т.п.



вается допустимым /недопустимым/, если значение его параметра принадлежит /не принадлежит/ соответствующему подмножеству допустимых значений.

Внешние входы блока  $P_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) схемы обозначаются через  $x_{i1}, x_{i2}, \dots$ , его внутренние входы, являющиеся выходами других блоков - через  $y_{i1}, y_{i2}, \dots$  и выходы - через  $z_{i1}, \dots, z_{ik_i}$ . логическое высказывание "значение входа допустимо" обозначается символом входа  $x$  /или  $y$  /. Тогда символы входов можно считать логическими входными переменными, принимающими значение "истинно" /1/, если значения соответствующих им входов допустимы, и значение "ложно" /0/ - в противном случае. Аналогично символы выходов можно считать логическими выходными функциями, принимающими значение 1, если значения соответствующих им выходов допустимы, и 0 - в противном случае

При таком рассмотрении функции выходов блоков являются булевыми функциями. Если перебрать все возможные сочетания значений входных переменных /входные наборы/ исправного блока и определить для каждого такого сочетания значение выхода  $z_{ij}$  ( $j = 1, \dots, k_i$ ), то полученную таким образом булеву функцию можно записать в виде ее совершенной дизъюнктивной нормальной формы. Эта функция названа функцией условий работы блока по выходу  $z_{ij}$  и обозначена символом  $F_{ij}$ . Гипотетически утверждается, что для большинства исправных непрерывных объектов булевы функции условий работы блоков являются монотонными. В дальнейшем  $F_{ij}$  представляется частной минимальной формой.

В результате минимизации функций  $F_{i1}, \dots, F_{ik_i}$  для каждого из выходов  $z_{i1}, \dots, z_{ik_i}$  блока  $P_i$  получается совокупность существенных /для данного выхода/ входов. В логической модели объекта каждый блок  $P_i$  представляется блоками  $Q_{i1}, \dots, Q_{ik_i}$  каждый с одним выходом  $z_{ij}$  и с  $S_j$  входами, существенными для этого выхода  $z_{ij}$ .

В общем случае каждому исходному блоку  $P_i$  в функциональной схеме соответствует подмножество блоков логической модели из  $\{Q_1, \dots, Q_n\}$ . В частном случае логическая модель может совпадать с функциональной схемой объекта.

Построенная логическая модель рассматривается как некоторое логическое устройство, при контроле которого допустимое множество входных наборов содержит единственный набор  $1 \dots 1$ . Это значит, что при контроле непрерывного объекта на последний подаются входные сигналы, которые находятся в допуске. В силу этого анализ логической модели сводится к нахождению минимальной совокупности внутренних узлов и выходных полюсов, наблюдение за которыми позволяет судить о состоянии объекта. Тем самым для анализа логической модели может быть использована общая методика, развитая в работе для анализа комбинационных устройств. Однако ряд особенностей логической модели /монотонность функции условий работы блоков, ограничения на характер неисправностей и др./ позволяют существенно упростить общий метод. Предположим сначала, что частная минимальная форма

$$F_i (i = 1, \dots, n)$$

состоит из одного члена, являющегося конъюнкцией входных и вну-



тренних переменных.

Будем считать, что все возможные неисправности блока  $Q_i$  можно разбить на два класса. К первому классу относятся все те неисправности, которые приводят к появлению выхода  $Z_i = 0$  вместо ожидаемого /соответствующего исправному блоку/ выхода  $F_i = 1$ . Обозначим такие неисправности переходом  $1 \rightarrow 0$ . Второй класс содержит неисправности, переводящие значение  $F_i = 0$  в  $Z_i = 1$ . Эти неисправности обозначим переходом  $0 \rightarrow 1$ .

Правильным назван такой блок, который сопоставляет значения  $Z_i$  со значениями  $F_i$  в соответствии с таблицей 2,1.

Таблица 2,1

| $F_i$ | $Z_i$ |
|-------|-------|
| 1     | 1     |
| 0     | 0     |

Неправильный блок осуществляет сопоставление в соответствии с таблицей 2,2.

Таблица 2,2

| $F_i$ | $Z_i$ |
|-------|-------|
| 1     | 0     |
| 0     | 0     |

Для большинства непрерывных объектов понятие правильного блока совпадает с понятием исправного блока, а понятие неправильного блока - с понятием неисправного блока. Это положение соответствует тому, что никакая неисправность блока не приводит к появлению на его выходе значения  $Z_i = 1$  х/.

х/ Отметим, что если анализ объекта показывает, что в нем возможны неисправности как типа  $1 \rightarrow 0$ , так и типа  $0 \rightarrow 1$ , то для оценки работоспособности объекта следует, невидимому, осуществлять поблочный контроль, используя методы, развитые в гл. I. работы.

Если составить логическое высказывание: "Блок  $Q$  правильный" и обозначить его символом  $Q / Q = 1$  или  $0$ /, то в соответствии с таблицами 2,1 и 2,2 можно составить таблицу 2,3.

Таблица 2,3.

| $F_i$ | $Q_i$ | $Z_i$ |
|-------|-------|-------|
| 1     | 1     | 1     |
| 0     | 1     | 0     |
| 1     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     |

из которой следует, что  $Z_i$  можно рассматривать как конъюнкцию переменных  $F_i$  и  $Q_i$

$$Z_i = Q_i \cdot F_i$$

Физически это соответствует тому, что выход  $Z_i$  блока  $Q_i$  будет допустимым только в том случае, когда все его входы допустимы /  $F_i = 1$  / и блок  $Q$  - исправный.

Правильная логическая модель функционирует правильно, если все ее блоки правильные. Справедливо следующее утверждение: для того, чтобы объект функционировал правильно /был исправен/, достаточно, чтобы логическое высказывание

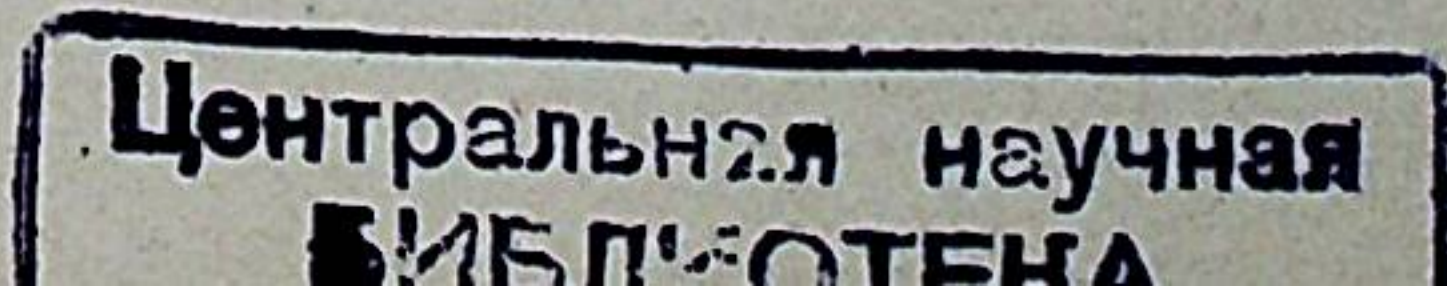
$$Z_1 \cdot Z_2 \cdot \dots \cdot Z_n \quad /2.1/$$

было истинным.

В работе рассмотрен метод нахождения минимальной совокупности выходов, истинность значений которых влечет за собой истинность высказывания /2.1/.

Рассмотрен вопрос о контроле работоспособности объекта в

308671





случае, когда функции условий работы блоков модели  $F_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) являются монотонными и имеют вид: х/

$$F_i = \Delta_{i_1} \vee \Delta_{i_2} \vee \dots \vee \Delta_{i_{l_i}} \quad /2.2/$$

где  $\Delta_{ij}$  - конъюнкция логических переменных.

В этом случае равенства  $F_i = 1$  и  $Z_i = 1$  в общем случае не позволяют утверждать, что блок  $Q_i$  исправный. Например, если  $F_i = x_{i_1} \vee x_{i_2}$ , то для  $x_{i_1} = 1, x_{i_2} = 1$  при выходе из строя элемента, воспринимающего вход  $x_{i_1}$  значение  $Z_i = 1$  сохраняется.

Блок назван полностью правильным, если он правильный на каждом из наборов  $\Delta_{ij}$ , входящем в  $F_i$ . Понятие полностью правильного блока совпадает для большинства объектов с понятием исправного блока.

Правильная модель функционирует полностью правильно, если все ее блоки полностью правильны /исправны/.

Поскольку  $F_i$  представляет собой частную минимальную форму, то всегда найдутся  $l_i$  различающих наборов входных переменных, таких, что на  $j$ -ом наборе  $\Delta_{ij} = 1$  и  $\bigvee_k \Delta_{ik} = 0$  ( $j=1, \dots, l_i; k=1, \dots, j-1, j+1, \dots, l_i$ ). Это следует из того, что частная минимальная форма не имеет поглощений.

В общем случае различающий набор содержит значения некоторых переменных, равные нулю. При реализации различающих наборов возникает необходимость в принудительном задании значений равных нулю, для ряда входов блока  $Q_i$ . В работе рассмотрено решение задачи определения минимальной совокупности комму-

х/ Функции такого вида имеются, в частности, в логических моделях объектов с резервированием.

тирующих элементов, достаточной для образования всех требуемых различающих наборов. В результате логическая модель будет иметь внешние входы:

$$x_1, \dots, x_n, \beta_1, \dots, \beta_2$$

Всегда можно построить  $S = \max_i l_i$  наборов  $\{x_1, \dots, x_n, \beta_1, \dots, \beta_2\}$  таких, что на всех  $S$  наборах каждая из конъюнкций  $\Delta_{ij}$  по меньшей мере один раз примет значение, равное 1, и одновременно все остальные конъюнкций  $\Delta_{ik}$  ( $k=1, \dots, j-1, j+1, \dots, l_i$ ) значение, равное нулю /по всем  $i$  /.

Для того, чтобы модель функционировала полностью правильно, достаточно, чтобы она функционировала правильно на каждом из  $S$  наборов входных основных и дополнительных переменных.

Тем самым задача контроля объекта сводится к контролю  $S$  его модификаций. В каждой такой модификации на вход каждого блока подается один набор, что соответствует рассмотренному выше случаю, когда каждая  $F_i$  представлена одним дизъюнктивным членом.

Если какой-либо блок модели  $Q_i$  неисправен, подставляя значение  $Q_i = 0$  в уравнение  $Z_i = Q_i \cdot F_i$ , получим недопустимое значение выхода  $Z_i = 0$ . Определим значения выходов  $Z_j$  ( $j \neq i$ ), которые обратятся в 0 при  $Z_i = 0$  /за счет  $F_j = 0$ / и поместим их в  $Q_i$  строку таблицы, которую назовем таблицей неисправностей.

Перенумеруем и обозначим строки таблицы следующим образом:  
 $L_i = \{\sigma_1^i, \sigma_2^i, \dots, \sigma_n^i\}$  ( $i=1, \dots, n$ )  
где  $\sigma_1^i, \dots, \sigma_n^i$  - состояния выходов  $i$ -ой строки таблицы неисправностей.

Операцию логического умножения строк /наборов/ определим

х/ Эта таблица аналогична таблице функций неисправностей.



так:

$$d_i \cdot d_j = \{b_1^i \cdot b_1^j, \dots, b_n^i \cdot b_n^j\}$$

где  $b_k^i \cdot b_k^j$  ( $k=1, 2, \dots, n$ ) - логическое произведение.

Доказана теорема 2,1:

Набор значений выходов логической модели при неисправных блоках  $Q_i, Q_j, \dots, Q_e$  совпадает с набором  $d = d_i \cdot d_j \cdot \dots \cdot d_e$ .

В работе рассмотрены методы определения минимального числа выходов блоков модели для выделения неисправности одного блока среди всех других и минимальной совокупности выходов, таких, что попарно различные наборы в таблице неисправностей будут попарно различны и на этих выходах.

Для определения числа проверок при последовательном поиске неисправного блока в модели при помощи внешней системы контроля /под проверкой понимается подача на модель допустимых входов и наблюдение одного выхода/ доказана:

Теорема 2,2:

Последовательный поиск любого неисправного блока правильной логической модели, состоящей из  $n$  блоков /при условии наличия только одного неисправного блока и попарной различимости наборов  $d_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) / методом, изложенным в доказательстве, содержит число проверок  $N, \leq n-1$ .

Следствие из теоремы 2,2: длина последовательного поиска любого неисправного блока /при соблюдении условий теоремы 2,2/ не превышает числа выходов, входящих в минимальную совокупность.

Рассмотрен случай, когда в объекте возможно существование произвольного числа неисправных блоков. Теоремой 2,1 установле-

но, что если в объекте существует несколько неисправных блоков, то набор значений выходов блоков модели совпадает с набором, полученным путем логического перемножения строк, отвечающих неисправным блокам. Тем самым задача нахождения неисправных блоков в модели /при произвольном их числе/ сформулирована следующим образом: пользуясь таблицей неисправностей и набором значений выходов логической модели, определить неисправные блоки.

Пусть число попарно различных наборов  $d_i$  равно  $n$ , а  $\mathcal{M}$  и  $\mathcal{N}$  суть непересекающиеся подмножества соответственно  $\{d_{p_1}, d_{p_2}, \dots, d_{p_e}\}$  и  $\{d_{t_1}, d_{t_2}, \dots, d_{t_m}\}$  из множества  $M\{d_1, \dots, d_n\}$ .

Теорема 2,3.

Наборы  $d_I = d_{p_1} \cdot d_{p_2} \cdot \dots \cdot d_{p_e}$  и  $d_{II} = d_{t_1} \cdot d_{t_2} \cdot \dots \cdot d_{t_m}$  всегда отличимы.

Доказательство теоремы вытекает из следующих двух лемм.

Лемма 2,1.

Наборы  $d_I$  и  $d_{II}$  отличимы тогда и только тогда, когда хотя бы в одном из подмножеств  $\mathcal{M}$  и  $\mathcal{N}$  имеется элемент  $d_s$  такой, что по крайней мере для одного  $b_k^s = 0$  ( $k \in \{1, \dots, n\}$ ) имеется  $b_k^j = 1$ , где

$$j = \begin{cases} t_1, \dots, t_m & \text{если } d_s \in \mathcal{M} \\ p_1, \dots, p_e & \text{если } d_s \in \mathcal{N} \end{cases}$$

Лемма 2,2.

В каждом из подмножеств  $\mathcal{M}$  и  $\mathcal{N}$  всегда найдется элемент  $d_u$  такой, что по крайней мере для одного  $b_k^u = 0$  ( $k \in \{1, \dots, n\}$ ) имеется  $b_k^j = 1$ ,



$$j = \begin{cases} t_1, \dots, t_{u-1}, t_{u+1}, \dots, t_m, & \text{при } \alpha_u \in \mathcal{M} \\ p_1, \dots, p_{u-1}, p_{u+1}, \dots, p_r, & \text{при } \alpha_u \in \mathcal{M} \end{cases}$$

Приведенные теоремы позволили сформулировать следующий алгоритм нахождения любого числа неисправных блоков модели.

Просматриваются значения всех выходов модели, в результате чего получается некоторый набор  $\alpha_0$  из нулей и единиц  $\{b_1^0, b_2^0, \dots, b_n^0\}$ . Просматривается таблица неисправностей и вычеркиваются строки  $\alpha_j$ , при  $b_j^0 = 1$  ( $j \in \{1, \dots, r\}$ ). Допустим, что в наборе  $\alpha_0$  нулевыми элементами являются  $b_{s_1}^0, \dots, b_{s_t}^0$ ;  $s_1, \dots, s_t \in \{1, \dots, n\}$ . На основании леммы 2,2 в оставшейся части таблицы неисправностей среди столбцов  $Z_{s_1}, Z_{s_2}, \dots, Z_{s_t}$  найдется хотя бы один столбец, содержащий один нулевой элемент  $b$ , причем этот элемент будет расположен на главной диагонали. Находятся все такие столбцы и выписываются строки, отвечающие таким нулевым элементам. Блоки, соответствующие этим строкам - неисправны. Если таким образом обнаружены не все неисправные блоки, т.е. после замены найденных неисправных блоков конъюнкция значений минимальной совокупности выходов для контроля работоспособности равна нулю, то повторяется описанный алгоритм.

### 3. Вопросы построения внешних универсальных систем автоматизированного контроля

В работе представлена и описана обобщенная блок-схема машины для автоматического контроля функционирования испытуемого объекта /ИО/. Опыт ИАТ/ТК/ по разработке и созданию машин для автоматического контроля качества /функционирования/ различных объектов показывает, а рассмотрение принципов построения таких

машин подтверждает, что рассматриваемая блок-схема обладает свойством универсальности, допускает глубокую унификацию основных элементов, узлов и блоков и не налагает существенных ограничений на свойства и характеристики контролируемых объектов. Тем самым обеспечиваются значительные возможности при создании модификаций машин для различных классов объектов.

Согласно обобщенной блок-схеме универсальной машины для автоматического контроля функционирования различных объектов, узел контроля параметров /УКП/ должен содержать устройства, необходимые для преобразования в дискретную форму всех выходных параметров, характеризующих состояние ИО. Для измерения одного и того же параметра можно предложить /или уже существует/, как правило, ряд методов преобразования, отличающихся между собой сложностью реализации, точностью, быстродействием, надежностью, стоимостью и другими характеристиками.

Естественно стремление к тому, чтобы при заданном наборе подлежащих контролю параметров и имеющейся совокупности методов их преобразования выбрать такой набор преобразователей, который обеспечивает получение оптимальных характеристик для узла контроля параметров в целом. В первую очередь при этом должен быть учтен такой показатель, как сложность реализации. Преобразователи обычно представляют собой совокупность элементов и узлов. Эти элементы и узлы зачастую одинаковы для различных преобразователей как одного и того же, так и разных параметров. Поэтому задача минимизации сложности реализации УКП сформулирована так: из заданной совокупности методов преобразования заданного набора контролируемых пара-



метров выбрать такие методы, для реализации которых необходим минимальный набор элементов и узлов. Такое решение обеспечивает возможность использования одних и тех же элементов и узлов в разных преобразователях и улучшает характеристики конструкции УКП за счет увеличения числа однотипных элементов и узлов.

В работе изложена методика получения минимального набора элементов и узлов преобразователей УКП на базе представления алгоритмов /методов/ преобразования в операторной форме и использования некоторых результатов из области минимизации булевых функций.

Для записи алгоритмов преобразования используется символика, предложенная Ляпуновым А.А. В качестве исходных операторов и логических условий принимаются такие, которые могут быть реализованы и реализуются в устройствах дискретного действия как отдельные элементы или узлы /например, триггер, схема сравнения, дешифратор, счетчик и т.п./. Дальнейшая их детализация или наоборот, укрупнение, не кажется целесообразным, так как это потребовало бы при технической реализации алгоритма либо разработки новых узлов и элементов, либо синтеза новых функциональных схем.

В работе рассмотрены методы преобразования в цифровую форму постоянных и переменных напряжений и токов, частот, сдвига фаз, омических сопротивлений, интервалов времени. Все эти методы записаны в операторной форме и найден минимальный набор операторов и логических условий, достаточный для реализации преобразования перечисленных параметров.

#### 4. Универсальное устройство для поиска неисправных блоков в функционально связанных системах

При проверке некоторого испытуемого объекта /ИО/ в случае выхода какого-либо его параметра из зоны допуска машина либо останавливается, если параметр, находящийся вне зоны допуска, препятствует дальнейшей проверке ИО, либо продолжает проверку в противном случае.

Если ИО представлен в виде функционально связанной системы блоков, то вначале проверяются параметры, характеризующие работоспособность объекта. Если эти параметры в допуске, то проверка работоспособности закончена. Если какой-либо из этих параметров /или их совокупность/ не в допуске, то машина должна измерить значения параметров, позволяющих определить неисправные блоки. х/

В работе описан алгоритм поиска произвольного числа неисправных блоков в объекте. Согласно этому алгоритму для осуществления поиска необходимо определить значения выходов всех блоков объекта /в общем случае/, а также построить таблицу неисправностей. Таким образом, если универсальную машину автоматического контроля снабдить устройством, реализующим упомянутый алгоритм, то для осуществления поиска /в случае обнаружения факта наличия неисправностей в объекте/ в это устройство необходимо ввести таблицу неисправностей проверяемого объекта, а также значения параметров на выходах его блоков. Поскольку работа алгоритма не зави-

---

х/ Предполагается, что при наличии в объекте каких-либо неисправностей, существует возможность замера параметров, достаточных для поиска неисправных блоков.



сит от структуры объекта, устройство для поиска неисправных блоков становится универсальным, т.е. пригодным для поиска различных неисправностей в любых объектах, таблица неисправностей которых не превышает объема памяти устройства.

Кроме этого, рассматриваемое устройство может служить в качестве универсального индикатора неисправностей в объекте /устройства встроенного контроля/. Для этого выходы всех блоков через промежуточные элементы, фиксирующие факт нахождения значений параметров этих выходов в допуске или вне его, подключаются к устройству. В последнее предварительно вводится таблица неисправностей контролируемого объекта. При выходе какого-либо параметра из зоны допуска устройство встроенного контроля указывает хотя бы один неисправный блок.

В работе дается описание обоих вариантов использования устройства для поиска неисправных блоков, а также приводится пример его построения на полупроводниковых логических элементах.

#### Основные выводы

I. В работе поставлены и решены задачи контроля работоспособности и поиска неисправностей в комбинационных многополюсниках, составленных из любых логических элементов, при наличии ограничений, диктуемых требованиями практики.

Для решения этих задач сформулированы правила построения общей таблицы функций неисправностей, по которой строится таблица тестов. Приводятся упрощенные методы построения таблицы тестов для многополюсников, содержащих только единичные неисправности, и для класса ориентированных блочных схем без петель.

2. Изложены методы анализа таблиц тестов с целью получения минимальных совокупностей внутренних узлов и выходных полюсов /из заданного допустимого множества/ многополюсника, контроль значений функций в которых позволяет судить об исправности схемы или о местонахождении неисправностей. Приведены методы построения минимальных проверяющих и диагностических тестов /наборов значений входных переменных, входящих в допустимое множество, заданное для осуществления контроля многополюсника/.

3. В работе предложена логическая модель непрерывных объектов и описаны правила ее построения. Использование модели позволяет формализовать процесс анализа объектов для целей контроля работоспособности и поиска неисправностей.

4. Рассмотрен алгоритм нахождения минимальной совокупности точек в объекте, контроль значений сигналов в которых позволяет судить об исправности /работоспособности/ объекта. Для логической модели объектов с резервированием описан метод введения дополнительных элементов, с помощью которых возможен контроль состояния резерва и работоспособности объекта.

5. Исследованы свойства логических моделей и на основании этого сформулирован алгоритм поиска неисправных блоков, число которых может быть произвольным.

6. В работе описаны принципы построения внешних универсальных систем автоматизированного контроля, в соответствии с которыми построен ряд разработанных в ИАТ универсальных систем контроля различных объектов. Опыт эксплуатации этих систем подтвердил правильность выбранных принципов.



7. Сформулирована задача оптимизации структуры узла контроля параметров /блока универсальной системы контроля/, как задача выбора таких методов преобразования, реализация которых требует минимума числа разнотипных элементов и узлов.

8. Описана методика минимизации числа различных операторов и логических условий, с помощью которых могут быть преобразованы все заданные параметры.

9. Предложено универсальное устройство для поиска неисправных блоков в функционально связанных системах.

Основные результаты работы доложены автором в научных докладах на научно-технических конференциях, сессиях и семинарах:

1. "Десятая научно-техническая конференция молодых специалистов ИАТ по теории автоматического управления и ее приложениям". ИАТ АН СССР, 23-25 апреля 1963 г.

2. Юбилейная сессия Ученого Совета ИАТ/ТК/, посвященная 25-летию Института, 30 июня - 2 июля 1964 г.

3. Общественный семинар по теории релейных устройств и конечных автоматов. 1 марта 1965 г.

По теме диссертации опубликованы следующие статьи:

1. Согомонян Е.С. Вопросы контроля работоспособности и поиска неисправностей в функционально связанных системах. Релейные устройства, конечные автоматы и кодирование. Сб. рефератов и аннотаций /1962-1963 гг./ ОНТИИриоор, г.Москва, 1964.

2. Согомонян Е.С. Контроль работоспособности и поиск неисправностей в функционально связанных системах. Автоматика и телемеханика, том XXV, № 6, 1964.

3. Согомонян Е.С. "Минимизация структуры многофункциональных устройств дискретной техники". Теория и применение автоматических систем. Изд. "Наука", Москва, 1964.

4. Карибский В.В., Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Техническая диагностика комбинационных устройств. Сб. "Абстрактная и структурная теория релейных устройств", изд. "Наука" /в печати/

5. Согомонян Е.С. Вопросы анализа комбинационных многополюсников для целей контроля работоспособности и поиска неисправностей. Сб. "Абстрактная и структурная теория релейных устройств" Изд. "Наука" / в печати/.

6. Согомонян Е.С. Универсальное устройство для поиска неисправных блоков в функционально связанных системах. Сб. "Абстрактная и структурная теория релейных устройств". Изд. "Наука", /в печати/.

7. Согомонян Е.С. "Устройство для поиска неисправных блоков в функционально связанных системах". Авторское свидетельство по заявке № 903.925/26-24 от 3 июня 1964 г.