

чений, осуществляемого с помощью специального зонда, устанавливаемого оператором на выводы каждого ЭРЭ ГУ.

При разработке алгоритмов поиска производственных дефектов использовано многоуровневое представление ОД, обеспечивающее наряду с полным представлением всех существенных параметров ОД, значительное упрощение используемых моделей за счет абстрагирования от всех несущественных на данном уровне детализации параметров ОД.

В качестве уровней детализации использовались уровни обнаружения обрывов, коротких замыканий и ошибок установки ЭРЭ. Высокая эффективность обнаружения производственных дефектов в АЦД достигнута за счет учета в моделях ГУ РЭА кажущихся коротких замыканий I-го и 2-го рода [2], кажущихся обрывов, представления многополюсных ЭРЭ подмножествами их характеристических двухполюсников. Особенностью использованных в АЦД методов и алгоритмов поиска производственных дефектов является их высокая производительность и обеспечение неповреждающего характера проверок.

Для реализации разработанных методов и алгоритмов самообучения и поиска производственных дефектов в АЦД впервые предложен ряд новых технических решений, таких как полнодоступное отказоустойчивое коммутирующее устройство, блок зондирования и контроля топологии, устройство измерения, отличающееся повышенными метрологическими характеристиками.

Разработанный АЦД обеспечивает контроль ОД, включающих до 1024 КТ. Максимальное время контроля практически не зависит от количества дефектов в ОД и не превышает (включая время установки на ИКУ) 25-30 с. Общее время подготовки и отладки оптимизированных по производительности программ диагностирования ГУ РЭА не превышает 35 - 40 ч/часов.

Литература

1. Кузьмин И.В., Байда Н.П., Месюра В.И. Оценка эффективности анализаторов производственных дефектов. - Киев, 1986. - 32с. Рукопись депонирована в УкрНИИТИ, № 2311-Ук86.

2. Байда Н.П., Месюра В.И. Обнаружение коротких замыканий при поэлементном диагностировании узлов РЭА / Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Методы и средства борьбы с помехами в цифровой технике", секция "Применение ЭВМ в проектировании электронной аппаратуры". - Каунас, 1986, с.75-76.

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОКОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА КОММУТАЦИИ В СИСТЕМАХ ПОЭЛЕМЕНТНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В.И.Месюра, Т.М.Болотова, Г.К.Крупская

Одним из условий реализации метода поэлементного диагностирования узлов РЭА является необходимость использования сложных игольчатых контактных устройств (ИКУ), насчитывающих до нескольких тысяч игольчатых контактных штырей, отдельные из которых, в процессе коммутации объекта диагностирования (ОД) могут не обеспечивать контакта с его монтажными площадками, что приводит к снижению достоверности результатов контроля, необходимости неоднократного повторения тестирования одного и того же объекта, и порой является причиной отказа от использования систем поэлементного диагностирования (СПД)

Указанная проблема может быть решена путем разработки специальных аппаратных средств (полнодоступного отказоустойчивого коммутирующего устройства) и алгоритмов самоконтроля процесса подключения объекта к средствам поэлементного диагностирования. При этом, при контроле каждого нового ОД, обеспечивается определение реального множества  $B_p$  его контрольных точек (КТ), к которым имеется доступ через контактные штыри, автоматическое исключение из эталонного множества  $B_g$  КТ подмножества  $KT_{B_g}$   $B_g = B_g \setminus B_p$ , и обеспечение, путем соответствующей автоматической коррекции программы диагностирования, контроля ОД на подмножестве  $B_p$  его контрольных точек.

При разработке алгоритмов самоконтроля процесса коммутации объекта необходимо обеспечить возможности обнаружения и разграничения дефектов из множества  $\Lambda^{OK}$ , включающего в общем случае три основных подмножества дефектов:

$$\Lambda^{OK} = \{ \Lambda^{O1}, \Lambda^{O2}, \Lambda^K \},$$

где  $\Lambda^{O1}$  - множество обрывов проводников ГУ;  $\Lambda^{O2}$  - множество обрывов выводов электрорадиоэлементов (ЭРЭ);  $\Lambda^K$  - множество кажущихся обрывов (отсутствие контактирования между иглами ИКУ и соответствующими монтажными площадками ОД).

При этом удобно представить ОД в виде гиперграфа  $\mathcal{H}_1 = [(X_1, \mathcal{A}_1), (L_1, B_1)]$ , множество  $X_1$  вершин которого представляет множество ЭРЭ ГУ, а каждое ребро  $l_{ij} \in L_1$  - проводник ГУ, объединяющий соответствующее подмножество ЭРЭ. Каждой вершине  $x_{ii} \in X_1$  соответствует вес  $a_{ii} \in \mathcal{A}_1$ , а каждому ребру  $l_{ij} \in L_1$

вес  $\beta_{ii} \in B$ . Каждый вес  $\alpha_{ii} \in A$ , представляет собой сумму  $\alpha_{ii} = \sum_{h=1}^{M_i} \alpha_{ih}^{ij}$ , где  $\alpha_{ih}^{ij}$  - частный вес вершины  $x_{ii}$  относительно инцидентного ей ребра  $\ell_{ij}$ ;  $h$  - порядковый номер монтажной площадки, в которой осуществляется подключение  $i$ -го ЭРЭ к  $j$ -му проводнику ГУ;  $M_i = |\ell(x_{ii})|$  - степень вершины  $x_{ii}$ , равная количеству инцидентных ей ребер гиперграфа  $\mathcal{H}_1$ .  
 Каждый частный вес  $\alpha_{ih}^{ij}$  представляет собой кортеж вида

$$\alpha_{ih}^{ij} = \{ \bar{\gamma}_{ij}; \tilde{\gamma}_{ij}; \bar{\gamma}_{ij}; \bar{\gamma} \},$$

где  $\bar{\gamma}_{ij}$  - значение величины проводимости, измеренной между  $j$ -м и остальными выводами ЭРЭ;  $\tilde{\gamma}_{ij}$  - на постоянном токе при величине  $U_c$  тестового сигнала  $U_c < U_0$ , где  $U_0$  - напряжение отсечки  $p/n$  перехода;  $\bar{\gamma}_{ij}$  - на переменном токе ( $U_c < U_0$ );  $\bar{\gamma}_{ij}$  - на постоянном токе в прямом направлении ( $U_c > U_0$ );  $\bar{\gamma}_{ij}$  - на постоянном токе в обратном направлении ( $U_c > U_0$ ).

Вес  $\beta_{ij} \in B$  ребра  $\ell_{ij} \in L_1$  гиперграфа  $\mathcal{H}_1 = [X_1, A_1, (L_1, B_1)]$  представляется суммой  $\beta_{ij} = \sum_{h=1}^{N_j} \alpha_{ih}^{ij}$ , где  $N_j = |X(\ell_{ij})| \geq 2$  - степень ребра  $\ell_{ij}$ , равная количеству инцидентных ей вершин.

Матрицей инцидентности  $I(\mathcal{H}_1) = \|\varphi_{ij}\|_{|X_1| \times |L_1|}$  гиперграфа  $\mathcal{H}_1$  будем называть матрицу, элементы которой образуются по правилу:

$$\varphi_{ij} = \begin{cases} \alpha_{ih}^{ij}, & \text{если } x_{ii} \in \ell_{ij}; \\ 0, & \text{если } x_{ii} \notin \ell_{ij}. \end{cases}$$

В общем случае  $\varphi_{ij} = \sum_{h=1}^{N_j} \varphi_{ih}^{ij}$ , где  $N_j$  - множество выводов  $i$ -го ЭРЭ, соединенных с  $j$ -тым проводником.

Обнаружение и разграничение дефектов типа "обрыв" осуществляется на основе сравнения матриц инцидентности  $I(\mathcal{H}_1)$  и  $I(\mathcal{H}_1^0)$  гиперграфовых моделей  $\mathcal{H}_1$  диагностируемого и  $\mathcal{H}_1^0$  эталонного узлов РЭА. При этом, по результатам сравнения соответствующих столбцов матриц  $I(\mathcal{H}_1)$  и  $I(\mathcal{H}_1^0)$  формируется множество  $\bar{L}_1 = \cup \bar{L}_{ii}$ , где

$$\bar{L}_{ii} = \{ \ell_{ij} \in L_1 \mid (\exists \ell_i^0 \in L_1^0), (\cup_{i=1}^{I_i} \ell_{ij} = \ell_i^0 \wedge I_i \geq 2) \}.$$

Выполнение условия  $(\bar{L}_1 = \emptyset)$  свидетельствует об отсутствии в ОД дефектов из множества  $A^{ок}$ .

Об обрыве проводника  $\alpha_i \in A$  судят по выполнению условия:

$$\{ \ell_{ij}, \ell_{ik} \} \in L_{ii} \mid |X(\ell_{ij})| > 1 \wedge |X(\ell_{ik})| > 1.$$

При этом, в список  $S'$ , содержащий информацию о дефектах множества  $A^{ок}$  заносятся номера КТ ОД, входящих в поврежденные участки  $\alpha_{ij}$  проводника  $\alpha_i \in A$ , отображаемые ребрами  $\ell_{ij} \in \bar{L}_{ii}$ , такими, что  $|X(\ell_{ij})| > 1$ .

При обнаружении  $\ell_{ij} \in \bar{L}_{ii}$ , таких, что  $|X_m(\ell_{ij})| = 1$ , выполняется процедура разграничения действительных и кажущихся обрывов ОД. С этой целью определяется множество инцидентных вершине  $x_m$  ребер  $\bar{L}_{im} = \{ \ell(x_m) \}$  гиперграфовой модели  $\mathcal{H}_1^0$ .  
 Выполнение условия

$$\ell_{ij} \cap \bar{L}_{im}^0 \neq \emptyset, \tag{1}$$

свидетельствует при этом о наличии обрыва проводника ОД. Невыполнение условия (1) и выполнение условия

$$(\bar{L}_{ii} \setminus \ell_{ij}) \cap \bar{L}_{im}^0 \neq \emptyset, \tag{2}$$

означает наличие в ОД дефекта из множества  $A^k$ .

При этом, информация об отсутствии контакта между  $k$ -й иглой ИКУ и КТ ОД  $\beta_k \in B$ , в которой осуществляется подключение  $j$ -го ЭРЭ к проводнику  $\alpha_i \in A$  ОД заносится в список  $S''$ .

Одновременное невыполнение условий (1) и (2) означает наличие в ОД кратного дефекта из множеств  $A^{ок} \cap A^{ок2}$  или  $A^{ок} \cap A^k$ . Информация о которых заносится в список дефектов  $S'''$ .

Повышение достоверности результатов контроля достигается при использовании описанного алгоритма за счет разграничения действительных обрывов в ОД от кажущихся. Повышение производительности контроля обеспечивается за счет формирования множества  $\bar{L}_{ii}$  ребер гиперграфовой модели  $\mathcal{H}_1$  ОД, отображающих фрагменты  $\alpha_{ij}$  поврежденных проводников  $\alpha_i \in A$ . При этом обеспечивается возможность автоматической коррекции программы диагностирования (с учетом нового множества проводников ОД и реального множества КТ ОД  $\beta_p \in B$ , к которым имеется доступ через контактные иглы ИКУ) и осуществления безостановочного перехода (без перерыва с целью немедленного устранения обнаруженных обрывов) к этапам поиска КЗ и ошибок установки ЭРЭ. Анализ возможности безостановочного перехода к этапу контроля ЭРЭ заключается при этом в проверке выполнения условия  $|X_p(\ell_{ij})| > 1$  для множества вершин  $X_p^0 \in X_1$  гиперграфа  $\mathcal{H}_1$ , представляющих ЭРЭ, контролируемые с использованием четырех- либо шестипроводных измерительных схем.

Реализация описанного алгоритма позволила повысить производительность системы поэлементного диагностирования АСПД-2 на 25-30%.