

Изобретение относится к области автоматического контроля и может быть использовано для автоматизированной идентификации компонентов и электрических связей печатных узлов (ПУ) неизвестной структуры с целью восстановления электрических принципиальных схем для автоматической генерации программ диагностирования ПУ в режиме самообучения систем покомпонентного (внутрисхемного) контроля на этапах сервисного обслуживания и серийного производства электронной аппаратуры.

Известен способ автоматической идентификации типа двухполюсной электрической цепи из множества: резистор, емкость, индуктивность, р/л-переход. Однако, реализация этого способа возможна только при наличии априорных сведений о точках приложения тестовых воздействий (местоположении измеряемого двухполюсника в печатном узле), что ограничивает его применение, поскольку количество  $T$  измерений, необходимых для изучения печатного узла с количеством контрольных точек  $N$  составит при этом:

$$T = N \times (n - 1) \times M/2 = N \times M/2,$$

где  $M$  - количество измерений необходимых для идентификации типа исследуемой двухполюсной цепи.

При назначении  $N = 1000$ ,  $M = 10$ , получаем  $T = 10^7$ , что практически неприемлемо в реальных условиях.

Кроме того, способ не позволяет идентифицировать в составе ПУ многополюсные (многовыводные) компоненты (МК), представляемые совокупностями своих характеристик двухполюсников (ХД) (под ХД понимаются один или несколько произвольным образом соединенных элементов внутренней структуры МК из ряда: сопротивление, емкость, индуктивность, р/л-переход, образующих сложную двухполюсную цепь, включенную между парой его внешних выводов), ввиду отсутствия возможности различить между собой ХД МК и двухполюсный компонент, в случае совпадения значений их параметров.

Наиболее близким к предлагаемому является способ автоматической генерации списка тестовых программ, заключающийся в анализе электрической принципиальной схемы печатного узла, выделении в ней общих и смежных узлов испытаний и выборе последовательности символов узлов испытаний. Однако, для реализации указанного способа необходимо выполнить ряд подготовительных операций по разметке электрической принципиальной схемы ПУ и выбору последовательности символов узлов испытаний, что исключает возможность использования данного способа при отсутствии комплекта технической документации, то есть в ситуации, с которой все чаще приходится сталкиваться службам, занимающимся ремонтом электронной аппаратуры.

В основу изобретения поставлена цель создания способа автоматической идентификации компонентов и электрических связей в ПУ неизвестной структуры, в котором, благодаря новому выбору последовательности подачи тестовых воздействий на объект изучения, базирующемуся на результатах совокупного анализа электрических и конструктивных характеристик отдельных компонентов и изучаемого печатного узла в целом,

обеспечивается возможность идентификации компонентов и электрических связей в ПУ в условиях отсутствия априорной информации о его структуре и, за счет этого, достигается возможность автоматической генерации программ диагностирования в условиях отсутствия электрических принципиальных схем ПУ.

Поставленная задача решается тем, что в способ автоматической генерации списка тестовых программ, включающий операции: выбора из множества  $A$  монтажных площадок (контрольных точек) печатного узла пар  $\{a_i, a_j\} \subset A$  точек; измерения между выбранными парами точек электрических характеристик из ряда: сопротивление, емкость, индуктивность, р/л-переход и идентификации на основе полученных результатов измерений типов и номинальных значений параметров компонентов включенных между указанными точками, согласно изобретению вводят дополнительную операцию совокупного анализа конструктивных и электрических характеристик печатного узла, для чего на основе данных о геометрических координатах  $x(a_i)$ ,  $y(a_i)$  контрольных точек  $a_i \in A$  строят исходную графовую модель  $G^0 = (V^0, E^0)$ , представляющую собой планарный граф вершины  $v_i \in V^0$  которого размещаются в узлах растровой (координатной) сетки и отображают контрольные точки  $a_i \in A$  печатного узла, причем  $x(v_i) = x(a_i)$ ,  $y(v_i) = y(a_i)$ , а ребра  $e^k \in E^0$  соединяют близлежащие вершины  $(v_i, v_j) \subset V^0$  такие, что  $x(v_i) = x(v_j) \cup y(v_i) = y(v_j)$  и каждому ребру  $e^k \in E^0$  ставят в соответствие вес  $dk = \{x(v_i) - x(v_j) + y(v_i) - y(v_j)\}$ , измеряют величины сопротивлений между каждой парой  $\{a_i, a_j\} \subset A$  контрольных точек и путем сравнения результатов измерений с заданным пороговым значением определяют совокупности точек входящих в состав каждого проводника, после чего удаляют из графа  $G^0$  ребра  $e_i = \{v_k, v_l\}$ , объединяющие вершины, соответствующие парам контрольных точек  $\{a_k, a_l\} \subset A$  входящих в состав одного и того же проводника, а также ребра, для которых не выполняется условие  $dk \leq N$ , затем, для идентификации многополюсных компонентов, выделяют из графа  $G^0$  ребернопорожденный на множестве  $E^{01} \subset E^0$  ребер со значениями  $dk = \Delta$  промежуточный подграф  $G^{01} = (V^{01}, E^{01})$  и осуществляют преобразование  $G^{01}$  в подграфы  $G_e^k$  результирующего графа  $G^k$ , для чего выполняют измерение электрических характеристик между каждой парой контрольных точек, отображаемых вершинами отдельных компонент связности  $G_i^{01}$ , а также вершинами каждой совокупности смежных компонент связности  $G_i^{01} \dots G_k^{01}$  и вершины  $(v_i, v_j)$  графа  $G^k$ , отображающие пары контрольных точек между которыми выявлено наличие двухполюсной электрической цепи объединяют ребром  $e_m^x \in E^k$  с присвоением ему атрибутов, соответствующих типу и измеренному значению параметра проидентифицированной двухполюсной цепи, сформированные таким образом на множествах вершин  $V_i^k$ , отдельных компонент связности  $G_i^{01}$  и совокупностей смежных компонент связности  $G_i^{01} \dots G_k^{01}$  подграфы  $G_e^k$  сравнивают с описаниями, хранящимися в библиотеке эталонных моделей и при положительном исходе сравнения идентифицируют многополюсный компонент, а при отрицательном результате сравнения - исключают соответствующие компоненты связности  $G_i^{01}$  из графа  $G^{01}$ , по завершении операции сравнения формируют промежуточный подграф  $G^{02} = V^0 \setminus V^{01}$  вершиннопорожденный на множестве  $V^{02} = V^0 \setminus V^{01}$

вершин исходного графа  $G^0$ , где множество  $V^{01}$  включает вершины, отображающие точки подключения выводов проидентифицированных многополюсных компонентов, после чего для идентификации двухполюсных компонентов последовательно осуществляют измерения электрических характеристик между парами контрольных точек, представляемыми инцидентным ребром  $e_k \in E^{02}$  парами вершин  $\{v_i, v_j\} \subset V^{02}$ , одна из которых имеет минимальное значение локальной степени  $(V_i)$ , при положительном результате идентификации из множества  $V^{02}$  исключают вершины  $\{v_i, v_j\}$ , дополняя при этом множество  $E^k$  ребер графа  $G^k$  ребром  $e^k = \{v_i, v_j\}$  с присвоением ему атрибутов соответствующих типу и измеренному значению параметра проидентифицированного двухполюсника, а при отрицательном исходе идентификации исключают ребро  $e_k = \{v_i, v_j\}$  из множества  $E^{02}$  не изменяя графа  $G^k$ , после каждой операции идентификации пересчитывают значения локальных степеней вершин множества  $V^{02}$ , и повторяют указанные операции до тех пор, пока не выполнится условие  $E^{02} = \emptyset$ , после чего повторяют операции измерения и идентификации между каждой парой КТ, отображаемых оставшимися вершинами  $v_i \in V^{02}$  нуль-графа  $G^{02}$ , в случае положительного результата идентификации включают соответствующее проидентифицированному двухполюснику ребро  $e_i$  в множество ребер  $E^k$  и по завершении измерений между каждой парой указанных точек завершают процедуру идентификации.

Введение в заявляемый способ операции совокупности анализа электрических и конструктивных характеристик ПУ позволяет автоматизировать операции выбора последовательности символов узлов испытаний (точек приложения тестовых воздействий) и разграничения характеристических двухполюсников МК от двухполюсных компонентов, выполняемые в способе-прототипе вручную, путем анализа и соответствующей разметки оператором электрической принципиальной схемы ПУ. В результате этого исключаются операции изучения и разметки электрической принципиальной схемы оператором и обеспечивается автоматическая идентификация электрических связей и компонентов ПУ в условиях отсутствия электрической принципиальной схемы.

Процесс идентификации компонентов может сопровождаться автоматическим формированием в памяти СГД графического образа сборочного чертежа ПУ1, отображаемого одновременно на экране дисплея системы. Для этого в состав программного обеспечения включается библиотека условных графических изображений компонентов в виде прямоугольников, квадратов, окружностей и пр. После ввода в СГД информации о геометрических координатах площадок и размерах ПУ на экран дисплея выводится изображение контура печатной платы ПУ с отмеченными на ней монтажными площадками. По мере идентификации очередного компонента между соответствующими расположению его выводов точками на экране дисплея отображается его графическое изображение. При этом обеспечивается визуальный контроль за ходом процедуры идентификации, наглядно представляются оператору места расположения МК в случае

выдачи ему запросов о необходимости подтверждения наличия в данном месте ПУ проидентифицированного компонента. Кроме того, сформированное изображение может использоваться в дальнейшем в процессе контроля печатных узлов для вывода диагностической информации в графической форме путем выделения изображения обнаруженных неисправных компонентов цветом, яркостью либо мерцанием.

Использование предлагаемого способа идентификации компонентов печатных узлов неизвестной структуры обеспечивает следующие преимущества по сравнению с известными:

1. Ограничение объема исходной информации необходимой для идентификации компонентов печатного узла и автоматической генерации тестовой программы в режиме самообучения СГД только сведениями о геометрических координатах монтажных площадок изучаемого ПУ.

2. Возможность восстановления электрической принципиальной схемы ПУ в условиях отсутствия комплекта технической документации.

3. Исключение операции ручного описания электрической принципиальной схемы ПУ для реализации режима автоматической генерации тестовой программы.

4. Возможность автоматической идентификации многовыводных компонентов за счет разграничения характеристических двухполюсников МК от двухполюсных компонентов, обеспечиваемого путем совокупного анализа конструктивных и электрических параметров компонентов.

5. Повышение производительности процедуры генерации тестовых программ в режиме самообучения СГД за счет минимизации количества требуемых измерений, достигаемого путем автоматического выбора точек приложения тестовых воздействий (определения мест наиболее вероятного расположения компонентов в изучаемом печатном узле).

6. Возможность автоматического формирования эталонных моделей МК в режиме самообучения СГД.

7. Возможность автоматического формирования изображения сборочного чертежа изучаемого печатного узла на экране дисплея СГД непосредственно в ходе идентификации его компонентов.

На фиг.1 а изображен фрагмент изучаемого печатного узла, на фиг.1б ... 1г представлены, соответственно, исходная  $G^0$  и промежуточные  $G^{01}$  и  $G^{02}$  графовые модели ПУ; на фиг. 2а и 2б показаны результирующая графовая модель  $G^k$  и, полученная в результате идентификации электрическая принципиальная схема фрагмента изучаемого печатного узла; на фиг.3а и 3б приведены, соответственно, структурная схема системы покомпонентного диагностирования (СГД) и граф-схема алгоритма идентификации типа двухполюсного компонента из ряда; резистор, емкость, индуктивность, р/п-переход.

Фрагмент печатного узла (фиг.1а) включает в свой состав электронные компоненты 2 - 1 ... 2 - 9 и печатные проводники 3 - 1 ... 3 - 11, объединяющие монтажные площадки 4 - 1 ... 4 - 44, в которых установлены выводы компонентов 2 - 1 ... 2 - 9.

Монтажные площадки 4 - 1 ... 4 - 44 являются контрольными точками и отображаются вершинами  $v_1$  ...  $v_{44}$ , соответственно, исходной

графовой модели  $G^0 = (V^0, E^0)$  (фиг.1б) фрагмента ПУ1. Вершины  $v_1 \dots v_{44} \cup V^0$  располагаются в узлах растровой (координатной сетки), совпадающих с узлами расположения соответствующих монтажных площадок 4 - 1 ... 4 - 44. Связи между вершинами (множество  $E^0$  ребер графа  $G^0$ ) отображают места наиболее вероятного расположения двухполюсных компонентов (ДК) в предположении, что ДК располагаются в ПУ1 вдоль геометрических осей X и Y и, что не допускается многоярусное расположение компонентов (один компонент не может располагаться под другим). Каждое ребро  $e_k = (v_i, v_j)$  описывается элементом  $d_{ij}$  матрицы геометрии D, значение которого совпадает с длиной ребра заданной в шагах растровой сетки.

Графовая модель  $G^{01} = (V^{01}, E^{01})$ , фиг.1в, представляет собой подграф, реберно-порожденный на множестве  $E^{01} \subset E^0$  ребер графа  $G^0$ ,  $E^{01} = \{e_k \in E^0 \mid v_{e_k} \in E^{01}, d_{ij} = 1\}$  и служит для идентификации многополюсных (многовыводных) компонентов (МК). Граф  $G^{01}$  состоит из компонент связности (КС)  $G_1^{01} \dots G_4^{01}$ , каждая из которых включает вершины размещенные в соседних узлах растровой сетки.

Графовая модель  $G^{02} = (V^{02}, E^{02})$  фиг.1г, служит для идентификации двухполюсных компонентов и представляет собой подграф, вершинно-порожденный на множестве  $V^{02} = V^0 \setminus V^{01}$  вершин графа  $G^0$ , из которых удалены ребра  $e_k \in E^0$ , инцидентные вершинам  $\{v_i, v_j\} \subset V^{01}$  отображающим короткозамкнутые монтажные площадки 4 - i ... 4 - j печатного узла 1, то есть пары монтажных площадок входящих в состав одного и того же проводника 3 - 1 ... 3 - 11 (например, ребро  $e_k = \{v_{33}, v_{34}\}$ ,  $e = \{v_{41}, v_{42}\}$  и т.д.).

Множество  $E^k = E^A \cup E^X$  ребер результирующей графовой модели  $G^k = (V^k, E^k)$ , фиг.2а, отображает множество проидентифицированных в составе ПУ1 двухполюсников. При этом ребра множества  $E = \{e_1^A, \dots, e_6^A\}$  отображают ДК 2 - 1 ... 2 - 6, соответственно, а ребра множества  $E^X = \{e_1^X, \dots, e_8^X\}$  отображают ХД МК. Многополюсные компоненты: разъем 2 - 7, операционный усилитель 2 - 8 DA1 и транзистор 2 - 9 VT1 представляются подграфами  $G_1^k \dots G_3^k$  графовой модели  $G^k$  ПУ1, фиг.2а, соответственно. Указанные подграфы полностью совпадают с моделями МК хранящимися в библиотеке СПД. Так, модель операционного усилителя (ОУ) типа K140УД1А представляется наложенным на растровую сетку графом, идентичным подграфу  $G_2^k = (V_2^k, E_2^k)$ , множество вершин  $V_2^k = \{v_{16}, \dots, v_{22}, v_{24}, \dots, v_{30}\}$  которого отображает, соответственно, монтажные площадки 4 - 16 ... 4 - 22, 4 - 24 ... 4 - 30 ПУ1 с которыми соединены выводы ОУ 2 - 8, а множество ребер  $E_2^k \{e_1^X, \dots, e_6^X\} \subset E^X$  представляет характеристические двухполюсники ОУ:

$e_1^X$  - последовательно соединенные резисторы, включенные между первым (v16) и пятым (v20) выводами ОУ;

$e_2^X$  - р/п-переход база-эмиттер между третьим (v18) и пятым (v20) выводами;

$e_3^X$  - р/п-переход база-эмиттер между двенадцатым (V26) и вторым (v17) выводами;

$e_4^X$  - резистор между вторым (v19) и третьим (v19) выводами;

$e_5^X$  - р/п-переход диода включенного между третьим (V18) и двенадцатым (v26) выводами;

$e_6^X$  - резистор между выводами семь (v22) и двенадцать (v26)

(см. Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справ. радиолобителя. - К.: Наук. думка, 1981. - С.317, рис.v4. Схема операционного усилителя K140УД1).

Модель транзистора 2 - 9 совпадает с подграфом  $G_3^k = (V_3^k, E_3^k)$  графа  $G^k$ , вершинно-порожденным на множестве вершин  $V_3^k = \{v_{37}, v_{38}, v_{39}\}$  с ребрами  $E_3^k = \{e_7^X, e_8^X\}$ , представляющими р/п-переходы транзистора, модель разъема 2 - 7 - с подграфом  $G_1^k$ , являющимся нуль-графом с множеством вершин  $V_1^k = \{v_1, \dots, v_{15}\}$ .

Электрическая принципиальная схема изучаемого ПУ1, фиг.2б, отображает результаты идентификации: проидентифицированные ДК 2 - 1 ... 2 - 6 и МК 2 - 7, 2 - 8, а также электрические связи между ними (проводники 3 - 1 ... 3 - 11).

Для реализации способа может использоваться любая система покомпонентного диагностирования. Например, система покомпонентного диагностирования, фиг.3а, включающая в свой состав блок 5 управления и вычисления, блок 6 связи с ЭВМ, измерительный преобразователь 7, коммутатор 8, контактное приспособление 9 и изучаемый печатный узел 1 (см.: А.с. СССР №1345880, МКИ G05B23/02, G06F15/46 ДСП).

Блок 5 управления и вычисления осуществляет программное управление работой СПД и реализуется в виде персональной ЭВМ типа ДВК-3М, ЕС-1841, IBM PC-AT/XT.

Блок 6 связи с ЭВМ предназначен для подключения измерительного преобразователя 7 и коммутатора 8 к персональной ЭВМ и реализуется на стандартной интерфейсной карте соответствующей ЭВМ.

Измерительный преобразователь 8 предназначен для преобразования контролируемых параметров компонентов (сопротивление, емкость, индуктивность) в цифровой код.

Коммутатор 8 при идентификации любого компонента обеспечивает до пяти независимых изолированных соединений между печатным узлом 1 и измерительным преобразователем 7, дающих возможность производить точные измерения в связанной схеме. В качестве коммутирующих элементов используются реле типа РЭС-64.

Контактное приспособление 9 служит для создания электрической связи между печатным узлом 1 и коммутатором 8. Оно выполнено в виде игольчатой матрицы типа "ложе из гвоздей" и содержит подпружиненные штыри, прижимающиеся к монтажным площадками 4 - 1 ... 4 - 44 проводников 3 - 1 ... 3 - 11 печатного узла 1 со стороны, противоположной стороне установки компонентов.

Подробное описание системы и ее блоков приведены в а.с. СССР №1345880. Блок поиска дефектов, входящий в состав устройства согласно указанному а.с. СССР №1345880, реализован в СПД программно.

На граф-схеме (фиг.3б) алгоритма идентификации двухполюсных компонентов обозначены тесты T1 ... T4 и вершины граф-схемы 10 ... 24, а также мнемонические обозначения проидентифицированных компонентов:

T(10) - тест измерения сопротивления на

постоянном токе с уровнем тестового напряжения не превышающим уровня напряжения отсечки р/п-перехода;

T2(11, 13) - тест измерения импеданса на переменном токе;

T3(18) - тест контроля полупроводниковых диодов;

T4(19, 20) - тест контроля полупроводниковых диодов в полярности противоположной T3(18).

Способ реализуется следующим образом. Определяют координаты контрольных точек (монтажных площадок 4 - 1 ... 4 - 44) изучаемого печатного узла 1 и устанавливают подпружиненные штифты в соответствующие узлы растрового поля контактного приспособления 9 СПД. По полученной о координатах контрольных точек (КТ) информации строят исходную графовую модель  $G^0$  ПУ1. Для этого в узлах растровой сетки соответствующих узлам расположения КТ 4 - 1 ... 4 - 44 располагают соответственно вершины  $v_1 \dots v_{44}$  графа  $G^0$ , и объединяют ребрами  $e_k \in E^0$  пары смежных вершин  $\{v_i, v_j\} \subset V^0$ , имеющих одну общую координату (фиг.1б). Ребра множества  $E^0$  представляют исходную информацию о местах наиболее вероятного расположения ДК, получаемую в предположении о том, что ДК располагаются в ПУ1 вдоль геометрических осей X или Y и недопускается многоярусное расположение компонентов (то есть ни один компонент в ПУ1 не может быть расположен под другим компонентом).

Прижимают ПУ1 к подпружиненным штифтам контактного приспособления 9 и в режиме самообучения СПД определяют совокупности короткозамкнутых КТ 4 - 1 ... 4 - 44, представляющих его проводники 3 - 1 ... 3 - 11 (см., например: А.с. СССР №1018054, МКИ G01R31/02, БИ №18, 1983). Затем удаляют из графа  $G^0$  ребра, объединяющие вершины  $\{v_i, v_j\} \subset V^0$ , которые отображают контрольные точки 4 - i, 4 - j принадлежащие одному и тому же проводнику 3 - 1 ... 3 - 11 (например, для фиг.1б вершины  $v_{39}$  и  $v_{40}$ ,  $v_{33}$  и  $v_{34}$ ,  $v_{41}$  и  $v_{32}$ ,  $v_3$  и  $v_{16}$  и т.д.), а также ребра со значениями  $d_{ij} > N$ , где N - максимальное допустимое расстояние в шагах растра между выводами компонента, после чего формируют промежуточную графовую модель  $G^{01}$  ПУ1, используемую для идентификации МК.

Графовую модель  $G^{01}$  (фиг.1в) строят путем выделения в графе  $G^0$  подмножеств вершин, расположение которых в узлах растровой сетки совпадает с характерным для конструкций МК расположением выводов - в ряд, с расстоянием между выводами равным или кратным шагу растровой сетки  $d_{ij} = M$  (вершины  $v_1 \dots v_{15}$ ,  $v_{16} \dots v_{22}$ ,  $v_{24} \dots v_{30}$ ,  $v_{37} \dots v_{38}$ ,  $v_{43}$ ;  $d_{ij} = 1$ ). Являясь реберно порожденным на множестве ребер графа  $G^0$  со значениями  $d_{ij} = 1$ , граф  $G^{01}$  представляется совокупностью компонент связности  $G_i^{01}$  ( $G_1^{01}, \dots, G_4^{01}$ , фиг.1в). Вершины каждой из компонент связности (КС)  $G_i^{01}$  предположительно отображают точки подключения выводов МК к ПУ1, причем точки подключения выводов одного МК отображаются, как правило, несколькими "смежными" КС, каждая из которых отображает один ряд выводов МК. Правила определения смежных КС представляющих МК разной конструкции могут значительно отличаться друг от друга. Например, для МК выполненных в DIP-корпусе, под смежными понимают две КС  $G_i^{01}, G_j^{01}$ , для которых  $|V_i^{01}| = |V_j^{01}| = N$ , вершины их

располагаются вдоль одной и той же оси координат, образуя N пар из точек  $vk \in V_2^{01}$ ;  $v_i \in V_1^{01}$ , и точки каждой пары имеют по этой оси общую координату и отстоят друг от друга на расстоянии  $dkl = M$  по другой оси координат. С целью выявления ХД, между каждой парой КТ, отображаемых вершинами совокупностей смежных КС осуществляют измерение электрических параметров из ряда: сопротивление, емкость, индуктивность, р/п-переход. По результатам измерений формируют подграфы  $G_i^k = \{V_i^k, E_i^k\}$ , вершинно-порожденные на подмножествах  $V_i^k \subset V^{01}$  вершин, принадлежащих как отдельно взятым, так и смежным КС графа  $G^{01}$ . Множества  $E_i^k$  ребер подграфов  $G_i^k$  отображают выявленные в процессе измерения двухполюсные цепи. Полученные подграфы сравнивают с хранящимися в библиотеке СПД эталонными графовыми моделями МК и при положительном результате сравнения осуществляют идентификацию компонентов. В рассматриваемом примере идентифицируют: разъем 2 - 7 (преобразование  $G_1^{01} \rightarrow G_1^k$ ), операционный усилитель 2 - 8 (преобразование  $G_2^{01}, G_3^{01} \rightarrow G_2^k$ ) и транзистор 2 - 9 (преобразование  $G_4^{01} \rightarrow G_3^k$ ).

При отрицательном результате идентификации, когда в библиотеке СПД отсутствует графовая модель идентичная полученному в результате изучения ПУ1 подграфу  $G_2^k$ , оператору указываются точки подключения предполагаемого МК в ПУ1 (местоположение предполагаемого МК) и выдается запрос на подтверждение наличия многополюсного компонента. Оператор визуально убеждается в наличии либо отсутствии МК в указанном СПД месте и дает соответствующий ответ на запрос. При положительном ответе оператор указывает имя под которым сформированная графовая модель  $G_i^k$  автоматически включается в библиотеку СПД. При отрицательном ответе - компоненты связности  $G_i^{01}$ , соответствующие сформированному подграфу  $G_i^k$ , исключаются из графа  $G^{01}$ .

По завершении операции идентификации МК строят граф  $G^{02} = (V^{02}, E^{02})$ , фиг.1г - вершинно-порожденный на множестве  $V^{02} = V^0 \setminus V^{01}$  вершин графа  $G^0$ . Для каждой вершины  $v_i \in V^{02}$  вычисляют значение локальной степени  $\rho(v_i)$ , совпадающее с количеством инцидентных вершине  $v_i$  ребер. Например, для графа  $G^{02}$  фиг.1г,  $\rho(v_{39}) = 1$ ,  $\rho(v_{34}) = 2$ ,  $\rho(v_{36}) = 3$  и т.д. Значение  $\rho(v_i)$  определяет количество имеющихся в ПУ 1 вариантов предпочтительного расположения ДК, один вывод которого расположен в монтажной площадке 4 - i. В связи с этим, для идентификации ДК в первую очередь осуществляют измерения электрических характеристик между теми парами смежных КТ, одна из которых отображается вершиной со значением  $\rho(v_i) = 1$ .

При положительном исходе идентификации (выявлении между КТ 4 - i и 4 - j ДК из ряда: резистор, емкость, индуктивность, р/п-переход), вершины  $\{v_i, v_j\} \subset V^{02}$ , соответствующие точкам установки проидентифицированного компонента  $G^{02}$  исключаются из множества вершин графа  $G^0$  (поскольку в каждой монтажной площадке 4 - i может быть установлен вывод только одного компонента, а ребро  $e_k = \{v_i, v_j\}$ , отображающее ДК, включают в множество ребер  $E^a \subset E^k$  графовой модели  $G^k$ , с присвоением ему соответствующих атрибутов, описывающих тип ДК и номинальное

значение его параметра. При отрицательном результате идентификации ребро  $e_k = \{v_i, v_j\}$  исключают из графа  $G^{02}$ , графовая модель  $G^k$  при этом не изменяется. Каждый шаг идентификации, независимо от ее исхода, завершается пересчетом значений  $\rho(v_i)$  для вершин, инцидентных исключенным ребрам. Например, для графа фиг.1г, значение  $\rho(v_i) = 1$  соответствует вершинам  $v_{23}$ ,  $v_{39}$ ,  $v_{42}$  и  $v_{44}$ . Поэтому, в первую очередь, измерения электрических характеристик выполняют между КТ ПУ1 соответствующими парами вершин:  $v_{23}$  и  $v_{31}$ ,  $v_{39}$  и  $v_{32}$ ,  $v_{42}$  и  $v_{35}$ ,  $v_{44}$  и  $v_{36}$ . По результатам этих измерений идентифицируют, соответственно, ДК 2 - 1, 2 - 2, 2 - 5 и 2 - 6, вследствие чего в множество  $E^A \subset E^k$  ребер графа  $G^k$  включают ребра  $e_1^A$ ,  $e_2^A$ ,  $e_5^A$  и  $e_6^A$  (фиг.2а), а из графа  $G^{02}$  исключают вершины  $v_{32}$ ,  $v_{31}$ ,  $v_{39}$ ,  $v_{32}$ ,  $v_{42}$ ,  $v_{44}$ ,  $v_{36}$ , соответствующие точкам установки проидентифицированных ДК. В результате множество  $V^{02}$  вершин графа  $G^{02}$  примет вид  $V^{02} = \{v_{33}, v_{34}, v_{40}, v_{41}\}$ . После пересчета значений  $\rho(v_i)$ , значение  $\rho(v_i) = 1$  будет соответствовать вершинам  $v_{33}$  и  $v_{34}$ . Таким образом, следующее измерение электрических характеристик выполняют между КТ, отображаемыми парами вершин  $v_{33}$ ,  $v_{40}$ , а также  $V_{34}$  и  $V_{41}$ . Результатом измерений явится идентификация ДК 2 - 3 и 2 - 4 соответственно, и пополнение подмножества  $E^A$  ребер графа  $G^k$  ребрами  $e_3^A$  и  $e_4^A$ . Последующее исключение из множества  $V^{02}$  вершин  $v_{33}$ ,  $v_{40}$ ,  $v_{34}$  и  $v_{41}$ , приведет к выполнению условия  $V^{02} = \emptyset$ , свидетельствующего о завершении операции идентификации.

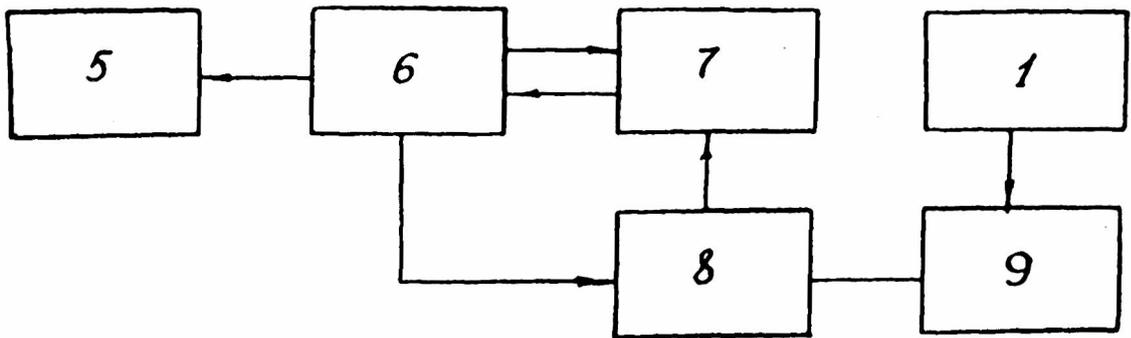
Операция измерения электрических характеристик, служащая для целей идентификации компонента, выполняется аналогично описанной в а.с. №1345880, где она используется для поиска "дефектов резистора".

Идентификация типа компонента осуществляется следующим образом.

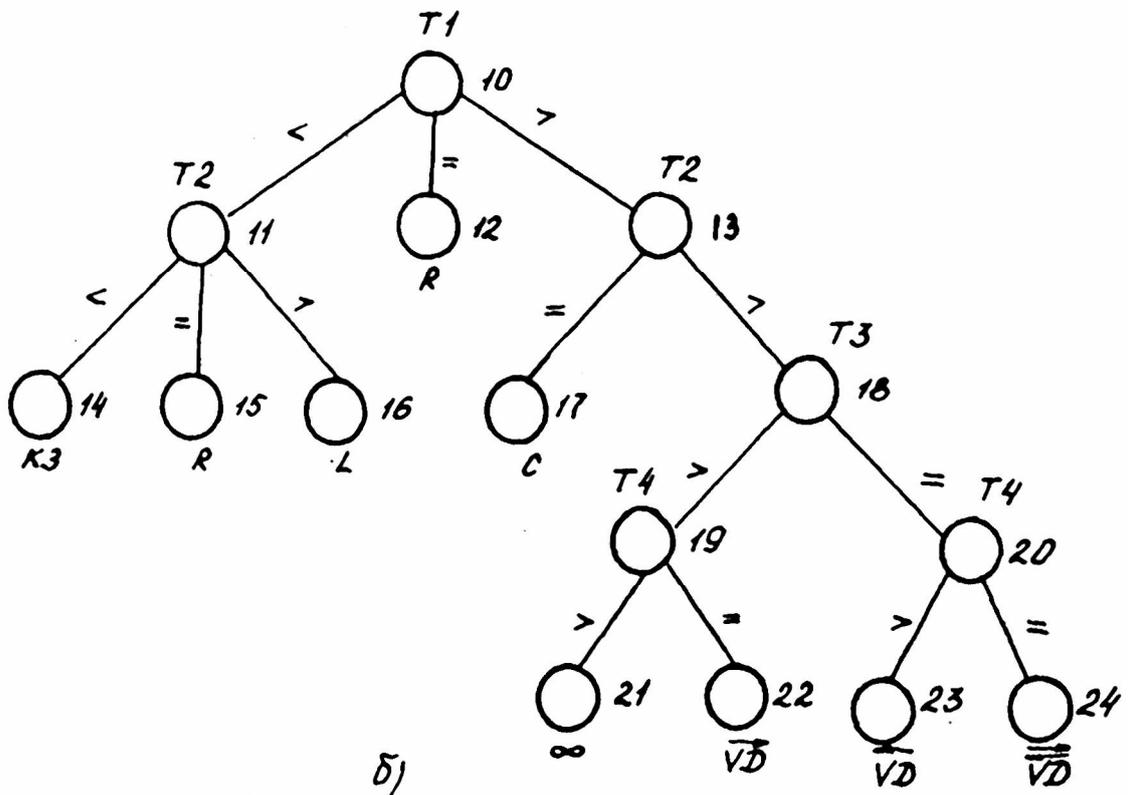
На идентифицируемую двухполюсную цепь подают тест T1(10) измерения сопротивления на постоянном токе, с уровнем тестового воздействия не превышающим уровня напряжения отсечки р/п-переходов. При попадании результата измерений в пределы граничных значений "=", двухполюсная цепь идентифицируется как резистор R(12). При получении результата меньше нижней границы допуска на двухполюсную цепь подают тест T2(11) измерения импеданса на переменном токе, позволяющий различить: короткое замыкание K3(14) - результат измерения ниже нижней границы допуска "<", низкоомное сопротивление R(15) - результат измерения "=" в пределах граничных значений, близкий результату полученному на тесте T1(10); индуктивность L(16) - результат измерения ">" превышает результат, полученный на тесте T1(10). Аналогично осуществляется идентификация компонента для другой ветви алгоритма. При превышении результатом измерения на тесте T1(10) верхнего граничного значения ">", на двухполюсную цепь также подается тест T2(13) измерения импеданса на переменном токе. Если результат теста T2(13) попадает в пределы допуска - идентифицируется емкость (17), если же он вновь превысит верхнее граничное значение, выполняется тест T3(18) измерения импеданса на постоянном токе с уровнем тестового напряжения превышающим уровень напряжения отсечки р/п-перехода. Если

результат измерения и теперь выйдет за верхний предел допуска, выполняется тест T4(19), совпадающий с тестом T3(18), но подаваемый в обратную полярности. Попадание результата измерения в заданный предел допуска позволяет при этом идентифицировать р/п-переход (полупроводниковый диод) VD (22), а выход его за верхний предел допуска свидетельствует об отсутствии ДК между исследуемой парой точек  $\infty$  (21). Если же при выполнении теста T3(18) результат измерения попадет в установленные пределы допуска, то также выполняется тест T4(20) в зависимости от результата которого идентифицируется: р/п-переход VD(23) - при превышении верхней границы допуска, либо пара встречно-включенных р/п-переходов VD (24) - при попадании результата измерения в заданные пределы допуска.





a)



b)

Фиг. 3