

Изобретение относится к области автоматического контроля и может быть использовано в системах контроля монтажа печатных узлов (печатных плат с установленными элементами), а также в системах поэтапного диагностирования (внутриремонтного контроля) электронной аппаратуры, реализующих методику четырехпроводных измерений (см. Н.П.Байда, И.В.Кузьмин, В.Т.Шпилевой. Микропроцессорные системы поэтапного диагностирования РЭА. - М.: Радио и связь, 1987. - стр. 66, рис. 3.4.), для автоматической идентификации проводников и обеспечения формирования программ контроля монтажа в режиме самообучения системы по эталонному (исправному) печатному узлу.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является способ идентификации проводников в печатных узлах радиоэлектронной аппаратуры, заключающийся в автоматическом формировании системой контроля (СК)  $n$  списков контрольных точек, осуществляемом путем выполнения двухпроводных измерений величин сопротивлений  $r$ , включенных между каждой парой контрольных точек ПУ, сравнения полученных результатов с пороговым значением  $R1$  и, при выполнении условия  $r < R1$ , занесения номеров соответствующей пары точек в соответствующий один из  $n$  списков контрольных точек.

Однако, при использовании известного способа величина порогового сопротивления  $R1$  составляет 5-8 Ом, что обусловлено включением последовательно с измеряемым в ПУ сопротивлением сопротивлений подводных проводов и коммутирующих элементов, а также переходных сопротивлений, возникающих в местах контактирования контактных штырьков с монтажными точками ПУ. Значения указанных сопротивлений являются переменными величинами, несоответствующими для разных контрольных точек и изменяющимися при каждом новом прижиге ПУ к контактному устройству. Вследствие этого они не могут быть учтены как постоянная составляющая погрешности. В результате, в процессе идентификации, низкоомные резисторы и катушки индуктивности с величиной сопротивления меньше значения  $R1$  порогового сопротивления воспринимаются системой контроля как отрезки печатных проводников (так называемые, "кажущиеся короткие замыкания", см. Н.П.Байда, И.В.Кузьмин, В.Т.Шпилевой. Микропроцессорные системы поэтапного диагностирования РЭА. - М.: Радио и связь, 1987, стр. 32, 43). Это приводит к снижению достоверности результатов идентификации и, как следствие, к снижению эффективности полученных по результатам идентификации программ контроля монтажа ПУ. Поскольку несколько объединенных низкоомными элементами проводников контролируются при этом как один "составной" проводник (СОПР), теряется возможность обнаружения коротких замыканий (КЗ) присутствующих между проводниками, входящими в состав СОПР, а также возможность локализации обнаруженных КЗ и обрывов с точностью до конкретного проводника входящего в состав СОПР, вследствие чего резко возрастает трудоемкость операций по устранению обнаруженных СК дефектов монтажа ПУ.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа идентификации проводников в печатных узлах радиоэлектронной аппаратуры, в котором путем использования для целей идентификации четырехпроводных измерений обеспечивается возможность разграничения низкоомных элементов от отрезков проводников и за счет этого повышается достоверность результатов идентификации.

Поставленная задача решается тем, что в способ идентификации проводников в печатных узлах радиоэлектронной аппаратуры, заключающийся в осуществлении двухпроводных измерений величин сопротивлений связывающих каждую пару контрольных точек печатного узла и в формировании  $n$  списков контрольных точек, в каждый из которых включаются точки. величина  $r$  сопротивлений которыми не превышает порогового значения  $R1$ , согласно изобретению вводится дополнительная операция разграничения низкоомных ЭРЭ от отрезков печатных проводников, осуществляемая с использованием устройства измерения, включающего в свой состав источник тока и вольтметр, и заключающаяся в том, что каждый из  $n$  полученных на первом этапе идентификации исходных списков проверяется на принадлежность всех, включенных в него контрольных точек одному и тому же печатному проводнику, причем первую и вторую шины устройства измерения, соединенные соответственно с плюсовыми клеммами вольтметра и источника тока, подключают к двум любым контрольным точкам (КТ) из проверяемого списка, а третью и четвертую его шины, соединенные, соответственно, с минусовыми клеммами вольтметра и источника тока, подключают поочередно ко всем возможным парам точек, образуемым из остальных КТ входящих в исходный список, после каждого подключения осуществляют измерение величины  $r$  сопротивления и при отсутствии хотя бы одного результата измерения  $r$  превышающего пороговое значение  $R2$  ( $R2 = R1/100$ ) делают вывод о принадлежности всех КТ проверяемого списка одному и тому же печатному проводнику, а при регистрации первого результата измерения  $|r| > R2$  делают вывод о наличии в проверяемом списке номеров контрольных точек входящих, как минимум, в состав двух разных проводников, первому из которых принадлежит точка подключения первой, а второму - точка подключения третьей шины измерителя, при этом: принадлежность точки подключения второй шины измерителя первому или второму проводнику определяется знаком, соответственно, плюс или минус, полученного результата измерения, после чего первая, вторая и четвертая шины измерителя фиксируются в ранее подключенных точках, а третью шину поочередно подключают к каждой из незанятых этими шинами КТ проверяемого исходного списка, после каждого подключения измеряют величину  $r$  сопротивления и при получении значения превышающего пороговое, относят точку подключения третьей шины к первому из разграничиваемых проводников, а в противном случае ко второму и по завершении разграничения точек каждый из вновь полученных списков, в свою очередь, проверяется на принадлежность всех, входящих в него КТ одному и тому же печатному проводнику пока для каждого вновь полученного списка точек не будет получено ни одного результата измерения превышающего пороговое значение. Введение в заявляемый способ дополнительной операции четырехпроводной идентификации печатных проводников позволяет снизить значения сопротивлений ЭРЭ разграничиваемых от отрезков проводников на два порядка с 5 Ом до 0,05 Ом. Использование четырехпроводной методики известно для целей измерения малых величин сопротивлений цепей, включенных между определенными, заранее известными парами КТ. Однако, для целей идентификации (определения совокупностей КТ принадлежащих разным проводникам ПУ), четырехпроводная методика не используется. Это связано с тем, что наличие сопротивления  $r$ , присутствующего между двумя подмножествами  $S1$  и  $S2$  КТ, представляющими проводники

объединенные низкоомным ЭРЭ, может быть зарегистрировано лишь в том случае, когда две шины измерительного устройства, соединенные с клеммами разных входящих в его состав приборов, будут соединены с точками одного, а две другие шины - с точками другого разграничиваемого проводников. Однако априорная информация о парах точек принадлежащих подмножествам S1 и S2 отсутствует. Таким образом, возникает необходимость в осуществлении подключения четырех измерительных шин ко всем возможным комбинациям из четырех контрольных точек входящих в множество  $SO = S1 \cup S2 \text{ КТ}$ , образующих СОПР. При количестве N точек ПУ  $N = 1024$  число K возможных вариантов подключения четырех измерительных шин к КТ ПУ определится по формуле (см. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1974, - С.):

$$K = C_{1024}^4 = \frac{1024 \times 1023 \times 1022 \times 1021}{1 \times 2 \times 3 \times 4} = 10^{12},$$

где  $C_{1024}^{1024}$  - биномиальный коэффициент.

При времени одного измерения  $T = 10$  мс (необходимого для перезаряда емкостей, входящих в состав изучаемого печатного узла) общее время идентификации  $T_0$  составило бы в этом случае  $T_0 = 10^{12}$  секунд, что практически неприемлемо. Кроме того, поскольку в большинстве случаев каждая шина измерителя будет подключаться к точкам принадлежащим разным проводникам ПУ, результаты измерений не будут нести никакой полезной с точки зрения разграничения проводников ПУ информации.

В заявляемом решении предлагается способ использования четырехпроводной методики именно для целей идентификации проводников в ПУ, то есть для обнаружения низкоомных ЭРЭ на заданных множествах КТ и разграничения указанных множеств на подмножества КТ, входящих в состав отдельных проводников ПУ объединенных низкоомными ЭРЭ.

При этом существенное сокращение необходимого количества измерений и устранение противоречия вызванного возможностью распределения четырех измерительных шин между электрически изолированными друг от друга проводниками достигается за счет реализации режима идентификации в два этапа.

Первый этап представляет традиционный подход к идентификации с использованием двухпроводных измерений, результатом которых является декомпозиция множества  $S_0$  всех КТ печатного узла на подмножества, представляющие как отдельные проводники ПУ, так и "составные" проводники (проводники объединенные низкоомными ЭРЭ, величина сопротивления которых оказывается ниже порогового значения  $R_1$ , воспринимаемого системой контроля в режиме двухпроводных измерений как короткое замыкание). Поскольку двухпроводные измерения позволяют реализовать режим группового контроля с использованием метода половинного деления [см. Байда Н.П., Кузьмин И.В., Шпилевой В.Т. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА, М.: Радио и связь, 1987, стр. 42, 43], необходимое количество  $K_1$  измерений составит на первом этапе:

$$K_1 < N \log_2 N = 10240,$$

то есть время  $T_1$  первого этапа идентификации не превысит величины  $T_1 = 103$  секунды.

На втором этапе, с использованием четырехпроводной методики, осуществляют разграничение отдельных проводников ПУ, вошедших по результатам первого этапа идентификации в состав СОПРов.

Возможность использования четырехпроводной методики обуславливается тем, что на втором этапе идентификации измерения осуществляются на отдельных подмножествах КТ ПУ, в каждом из которых КТ электрически соединены между собой отрезками проводников, либо низкоомными ЭРЭ. Тем самым, во-первых, устраняется возможность подключения в процессе идентификации измерительных шин к электрически изолированным друг от друга точкам, а во-вторых, достигается значительное сокращение требуемого для четырехпроводной идентификации проводников количества измерений. Так, поскольку количество КТ в самых длинных проводниках ПУ не превышает 20-30 (для шин питания), и сопротивлениями с величиной  $R_2 < r < R_1$  крайне редко объединяются между собой больше 3-х-4-х проводников, максимальное количество  $K_2$  возможных подключений четырех измерительных шин к такой совокупности точек составит на втором этапе самообучения:

$$K_2 = 4! \times C_4^{120} = 2 \times 10^8$$

Однако, в соответствии с заявляемым способом максимально необходимое в данном случае количество измерений составит лишь  $K_{\max} = 1275$ .

Использование способа наиболее эффективно в аналоговых печатных узлах, включающих значительное количество низкоомных ЭРЭ, благодаря обеспечению следующих основных преимуществ:

1. Повышению достоверности результатов идентификации за счет предоставления возможности разграничения низкоомных ЭРЭ с величиной сопротивления  $r = 0,01$  Ом от отрезков печатных проводников (в прототипе величина порогового значения сопротивления составляет 2-5 Ом).

2. Обеспечение практически приемлемого времени идентификации в режиме четырехпроводных измерений. Так, если множество из  $S_0 = 60$  КТ, полученное на первом этапе самообучения включает в свой состав два проводника содержащих по  $IS1 = IS2 = 30$  КТ, минимальное количество четырехпроводных измерений, необходимых для разграничения проводников составит  $K_{\min} = IS2 - 3 = 60 - 3 = 37$ ,  $T_{\min} = 0,37$  сек. Вероятность P достаточности минимального числа измерений для целей разграничения таких проводников определяется по формуле:

$$P = \frac{4 \times C^2 |S_0| - 1 + (C^2 |S_1| - 2C^2 |S_2|) \times (C^2 |S_1| - 2 + 2C^2 |S_2| - 1)}{C^2 |S_1| \times 2C^2 |S_1| - 2}$$

и составит  $P=0,32$ . Максимально необходимое число измерений определится по формуле

$$K_{\max} = K_{\min} + 2 C^2 |S_2| - 1$$

и составит  $K_{\max} = 1275$ ,  $T_{\max} = 12,8$  сек, Наибольшее число измерений потребуется для проверки списка, все точки которого принадлежат одному и тому же проводнику. Это число определяется по формуле

$$K_0 = \frac{2}{C |S_0|}$$

и составит для рассматриваемого примера  $K_0 = 1653$ ,  $T_0 = 16,53$  сек.

Следует отметить, что подавляющее большинство проводников печатных плат содержат не более 5-8 КТ. Для разграничения же двух проводников, содержащих по 8 КТ, требуется не более 57 измерений (0,57 сек), а для проверки одного массива из восьми точек, принадлежащих одному проводнику-21 измерение (0,21 сек).

Таким образом, использование предлагаемого способа позволяет, без существенного снижения производительности, повысить достоверность процедуры автоматической идентификации проводников в печатных узлах радиоэлектронной аппаратуры.

На фиг.1.а показано подключение устройства измерения к КТ разграничиваемых проводников смонтированного печатного узла; на фиг. 1б - приведена таблица, отображающая значения функции четырехпроводной идентификации печатных проводников, получаемых при подключении измерительных шин устройства измерения к разграничиваемым проводникам ПУ во всех возможных комбинациях; на фиг.2 - представлен алгоритм разграничения КТ, принадлежащих проводникам, объединенным низкоомным ЭРЭ.

Фрагмент смонтированного печатного узла 1 (фиг.1.а) содержит первый 2 и второй 3 печатные проводники, включающие в свой состав КТ 2-1...2-5 и 3-1...3-5 соответственно. Проводники 2 и 3 объединены низкоомным ЭРЭ 4.

Устройство 5 измерения, состоящее из вольтметра 6, источника тока 7 и ключей 8-1 и 8-2 двухсекционного переключателя 8, подключено первой 9, второй 10, третьей 11 и четвертой 12 измерительными шинами к КТ проводников 2 и 3 ПУ1 с целью обнаружения на множестве КТ 2-1...2-5, 3-1...3-5 низкоомного ЭРЭ 4 и определения принадлежности каждой КТ конкретному проводнику 2 или 3.

Вольтметр 6 предназначен для определения принадлежности КТ к цепи, через которую протекает ток, задаваемый источником тока 7, путем измерения напряжения между этими точками.

Ключи 8-1 и 8-2 двухсекционного переключателя 8 предназначены для организации измерений по двухпроводной схеме (правое положение ключей) и по четырехпроводной схеме (левое положение ключей).

Значения функции  $F(S_4)$  четырехпроводной идентификации печатных проводников (фиг.1.б), задаваемой на множестве  $S = \{a_i, a_j, a_k, a_l\}$  из четырех КТ, однозначно определяется распределением измерительных шин 9-12 между объединенными низкоомным ЭРЭ 4 подмножествами  $KTS_1 = \{a_{2-1}, \dots, a_{2-5}\}$  и  $S_2 = \{a_{3-1}, \dots, a_{3-5}\}$ . такими что  $S_1 \cup S_2 = S_0$ ,  $S_1 \cap S_2 = \emptyset$ . Из таблицы фиг. 1.б следует, что функция  $F(S_4)$  задается на множестве  $S$  КТ следующим образом:

$$F(S_4) = \begin{cases} 1, & \text{если } \{a_i(U+), a_j(I+)\} \subset S_1 \oplus \{a_k(U-), a_l(I-)\} \subset S_1; \\ -1, & \text{если } \{a_i(U+), a_l(I-)\} \subset S_1 \oplus \{a_k(U-), a_j(I+)\} \subset S_1; \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases}$$

где  $U+$ ,  $I+$ ,  $U-$ ,  $I-$  - измерительные шины 9, 10, 11, 12 соответственно;

$a_i(U+)$  - обозначает подключение шины  $U+$  к КТ  $a_i$ . То есть:

- значение  $F(S_4) = 1$  достигается только при подключении к одному из разграничиваемых проводников 2 или 3 ПУ1 измерительных шин 9 и 10, а к другому - измерительных шин 11 и 12;
- значение  $F(S_4) = -1$  достигается только при подключении к одному из разграничиваемых проводников 2 или 3 ПУ1 измерительных шин 9-й 12, а к другому - измерительных шин 10 и 11;
- все остальные варианты распределения измерительных шин 9...12 между разграничиваемыми проводниками ПУ 1 обуславливают получение значения  $F(S_4) = 0$ .

Анализ таблицы фиг.1.б позволяет сделать вывод о возможности достижения дальнейшего сокращения числа измерений при четырехпроводной идентификации печатных проводников за счет фиксации двух измерительных шин, одна из которых соединена с вольтметром, а другая с источником тока (например, шин 9 и 10), на двух КТ произвольно выбранных из множества  $S_0$  разграничиваемых точек СПП. При этом число различных возможных комбинаций из двух точек, то есть число возможных подключений двух оставшихся измерительных шин к точкам из множества  $S_0$  составит, для ранее рассмотренного примера  $K_2 = 2! \times C_2^{120} = 14280$ .

Правомерность предложенной фиксации двух шин на двух произвольно выбранных точках из множества  $S_0$  разграничиваемых точек обуславливается тем, что две указанные точки могут принадлежать при этом либо одному и тому же из двух разграничиваемых подмножеств  $S_1$  или  $S_2$ , либо разным подмножествам  $S_1$  и  $S_2$ . В обоих случаях в процессе идентификации будет подобран такой вариант подключения двух оставшихся шин (11 и 12), при котором они окажутся подключены, соответственно, либо обе к другому из разграничиваемых проводников, либо к разным проводникам в сочетании, обеспечивающем получение

результата  $F(S4) \neq 0$ .

В соответствии с изложенным предлагаемый способ осуществляется следующим образом. На первом этапе идентификации ключи 8-1 и 8-2 переводятся в правое положение, коммутируя двухпроводную схему измерения. С использованием групповых методов контроля осуществляются двухпроводные измерения величин сопротивлений, включенных между каждой парой КТ 2-1...2-5, 3-1...3-5 и формируются исходные перечни КТ, объединенных между собой сопротивлениями  $g$  с величинами не превышающими порогового значения  $R1 = 5 \text{ Ом}$ .

На втором этапе идентификации каждое исходное множество КТ анализируется на принадлежность всех входящих в него точек одному и тому же проводнику с использованием четырехпроводной методики, позволяющей снизить значение порогового сопротивления  $R1$  до уровня  $R2 = R1/100$ , за счет исключения влияния на результаты измерений величин сопротивлений подводящих проводников и контактных сопротивлений, возникающих в точках подключения измерительных шин к печатным проводникам.

Для этого ключи 8-1 и 8-2 переводятся в левое положение, коммутируя четырехпроводную схему измерения. Затем последовательно анализируется каждое из сформированных на первом этапе самообучения исходных множеств КТ.

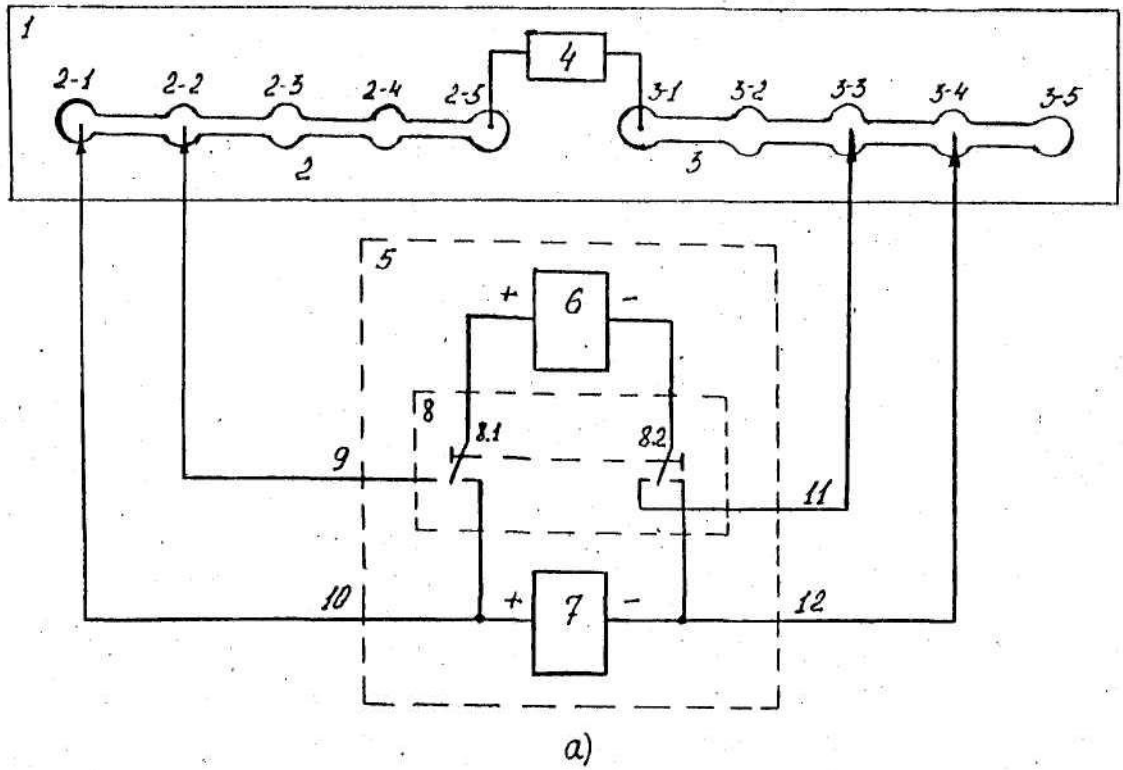
Вначале осуществляется проверка количества  $n$  входящих в анализируемое исходное множество  $So$  контрольных точек (вершина 02 алгоритма фиг.2). Если  $n < 4$ , значит осуществляется переход к анализу следующего исходного множества КТ, поскольку СОПР, не может включать в свой состав менее двух проводников, каждый из которых должен иметь не менее двух монтажных площадок (контрольных точек). Затем шины 9 и 10 фиксируются в двух произвольно выбранных КТ (03), а шины 11 и 12 последовательно подключаются к разным парам точек из множества  $So(04-011)$ . Каждое подключение сопровождается измерением (07). Отсутствие хотя бы одного результата измерения  $g > R2$  соответствующего значению  $F(S4) \neq 0$ , свидетельствует о том, что анализируемое множество  $So$  КТ входит в один печатный проводник. Фиксация же указанного результата означает, что множество  $So$  КТ представляет, как минимум, два печатных проводника, включающих подмножества  $S1$  и  $S2$  контрольных точек, соответственно. При этом, в соответствии с таблицей фиг. 1.6, в зависимости от знака  $F(S4)$ , точки подключения измерительных шин соотносятся с разграничиваемыми проводниками следующим образом (012-014):

- при  $F(S4) > 0$  - к первому проводнику относятся точки подключения шин 9 и 10, а ко второму - точки подключения шин 11 и 12;

- при  $F(S4) < 0$  - к первому проводнику относят точки подключения шин 9 и 12, а ко второму - точки подключения шин 10 и 11.

После получения первого значащего результата шины 9, 10, 12 фиксируются в точках своего подключения, а шина 11 последовательно подключается ко всем остальным КТ множества  $So$  (015-025). После каждого очередного подключения осуществляется измерение и при получении результата измерения  $g < R2$ , соответствующего значению  $F(S4) = 0$  точку подключения шины 11 относят к множеству точек  $S1$ , представляющих первый разграничиваемый проводник (023), а при получении результата измерения  $g > R2$  соответствующего значению  $F(S4) \neq 0$  - точку подключения шины 11 относят к множеству точек  $S2$  (022).

Таким образом, результатом работы алгоритма фиг.1.6 является разграничение СОПР на два проводника, представляемых подмножествами  $S1$  и  $S2$  КТ. Каждое из полученных подмножеств КТ  $S1$  и  $S2$  затем вновь проверяется в соответствии с алгоритмом фиг.2 на принадлежность одному и тому же проводнику и указанная процедура повторяется до тех пор, пока при проверке каждого из полученных подмножеств КТ не будет зафиксировано ни одного значения  $F(S4) \neq 0$ , что свидетельствует о завершении процедуры разграничения проводников, объединенных низкоомными ЭРЭ.

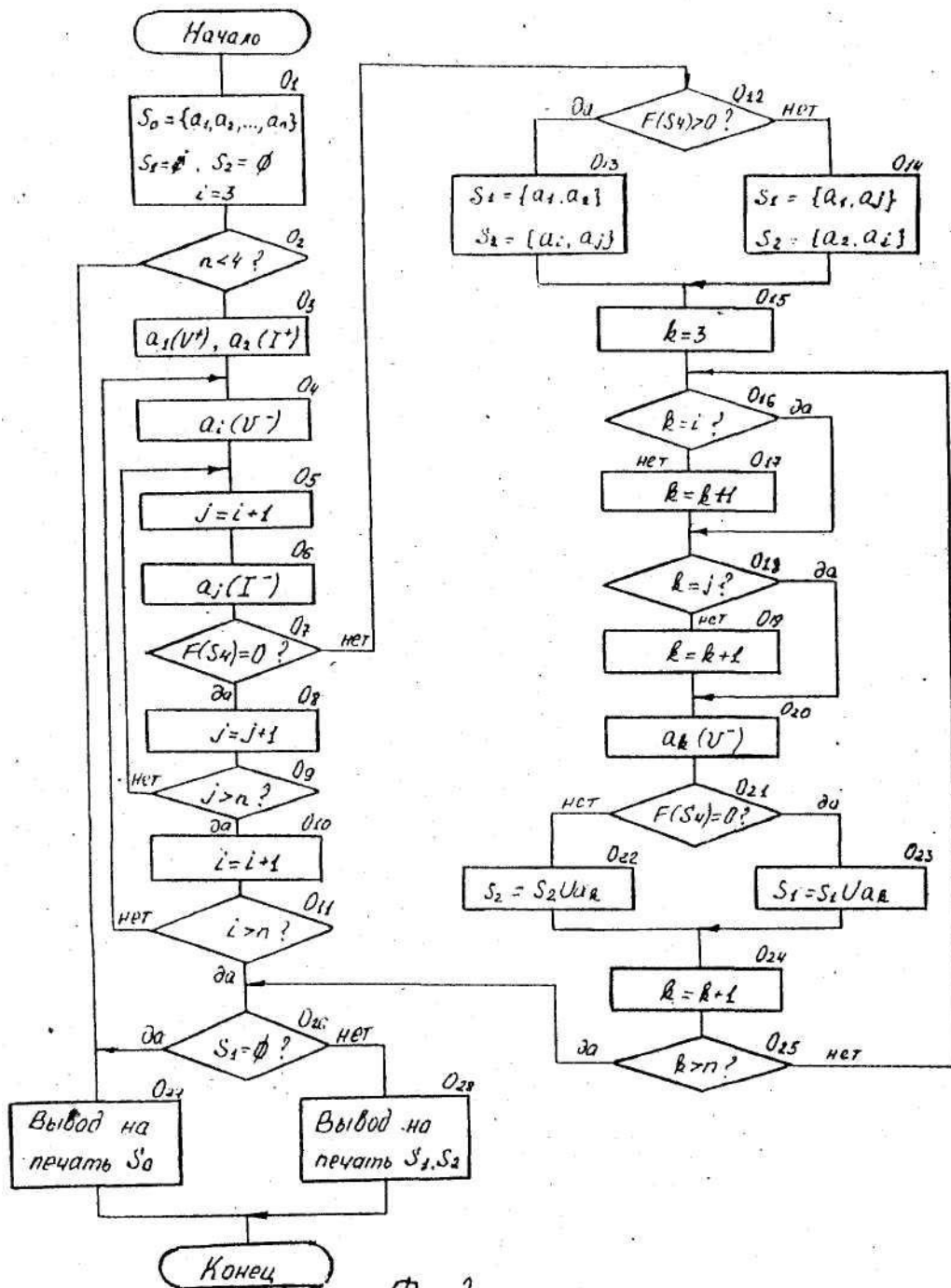


а)

Шины	Печатные проводники															
9	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
10	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2	3	3	2	2
11	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2
12	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
$F(S_{ij})$	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	1	0	0	0

б)

Фиг. 1



Фиг. 2