

Изобретение относится к измерительной технике, а именно к многоточечным системам измерения температуры полупроводниковыми диодными датчиками, и может быть использовано для определения профиля температурных полей с повышенной точностью.

Для определения профиля температурных полей применяют измерительные системы с множеством термодатчиков, размещенных в определенных заранее точках, с параллельной, параллельно-последовательной или мультиплицированной структурами. Такие измерительные системы во многих случаях представляют объединение датчиков с аналоговыми измерительными цепями, блоками аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования, а также устройствами обработки и выдачи информации. В последнее время увеличивается количество измерительных систем, включающих цифро-управляемые коммутирующие устройства и средства микропроцессорной техники для обработки измерительной информации [Цапенко М.П. Измерительные информационные системы.: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование - М.: Энергоатомиздат, 1985. - С.155-160.

В системе многоточечного контроля температуры типа К742 термодатчики включаются в измерительный канал 3-х ступенчатым коммутатором Ф799/1, в котором в качестве ключей применяются реле РЭС-44 с магнитоуправляемыми контактами. При количестве термодатчиков свыше 100-200 быстродействие многоточечной системы с электромагнитными реле получается невысоким, а точность и надежность системы из-за быстрого износа контактов реле резко снижается.

Бесконтактные коммутирующие элементы, выполненные на полупроводниковых диодах, обладают высоким быстродействием и хорошей надежностью. Однако диодные ключи в открытом состоянии имеют относительно большое сопротивление (от 2 до 100 Ом), которое сильно зависит от температуры и нестабильно во времени. Поэтому точность многоточечных систем измерения с диодными ключами несмотря на высокое быстродействие и надежность остается низкой.

Известна многоточечная система измерения температуры, в которой полупроводниковые диоды используются как коммутирующие элементы и одновременно открытый диод выполняет функцию термодатчика [Заявка Японии №53-19433, кл. G 01 K 7/00, 1978]. Такие системы измерения содержат диодные ключи-датчики температуры, включенные между электродами в узлах матрицы, ключи строк и столбцов матрицы, а также соединенные параллельно генератор тока и измерительный прибор, подключенные к строкам и столбцам матрицы.

Однако нестабильность сопротивления открытого диода во времени, разброс параметров диодов даже в пределах одной партии неизбежно снижает точность измерения температуры в различных точках контролируемого поля,

Известна также многоточечная система измерения температуры [Авт. св. СССР № 1374064, кл. G 01 K 7/00, 1986], содержащая полупроводниковые диодные датчики температуры, включенные встречно-параллельно и объединенные в матрицу, блок ключей строк матрицы, входы каждого из которых объединены в общий вывод, а выходы соединены с соответствующими строками матрицы, блок ключей столбцов матрицы, входы каждого из которых объединены в общий вывод, а выходы соединены с соответствующими столбцами матрицы, блок ключей прямого и инверсного включения, входы которого соединены с первой и второй токовыми шинами системы.

Кроме того, система содержит генератор тока, соединенный с первой и второй токовыми шинами, и измерительный прибор, включенный параллельно генератору тока, выходы блока ключей прямого и инверсного включения соединены с общими выводами блоков ключей строк и столбцов матрицы.

Замыканием соответствующих ключей в блоках включается диодный датчик температуры, размещенный в заданной точке температурного поля и подключенный к одному из узлов матрицы. Температура определяется по показаниям измерительного прибора, который измеряет падение напряжения на открытом р-п-переходе полупроводникового диода.

Однако прибор, включенный параллельно генератору тока, измеряет падение напряжения не только на открытом р-п-переходе диода, но и падение напряжения на электродах столбцов и строк матрицы, на замкнутых ключах, если они выполнены на полупроводниковых структурах (триоды, интегральные сборки и т.п.), а также на объемных сопротивлениях открытого диода. Так как суммарное сопротивление электродов строк и столбцов зависит от расположения датчика в сетке матрицы, то учесть или скорректировать погрешность от падений напряжений на пассивных элементах матричной схемы не представляется возможным.

В основу изобретения положена задача создать многоточечную систему измерения температуры, в которой введение новых элементов и их взаимосвязь позволило бы обеспечить измерение падения напряжения независимо от места расположения в матричной системе диодного датчика при его включении, от сопротивления подводящих проводов, переходных сопротивлений ключей, объемных сопротивлений полупроводниковых диодов, нестабильности и разброса параметров открытого р-п-перехода. Благодаря этому можно существенно повысить точность измерения температуры в любой точке контролируемого поля.

Эта задача решается тем, что в многоточечную систему измерения температуры, содержащую полупроводниковые диодные датчики температуры, включенные встречно-параллельно и объединенные в матрицу, блок ключей строк матрицы, входы каждого из которых объединены в общий вывод, а выходы соединены с соответствующими строками матрицы, блок ключей столбцов матрицы, входы каждого из которых объединены в общий вывод, а выходы соединены с соответствующими столбцами матрицы, блок ключей прямого и инверсного включения, входы которого соединены с первой и второй токовыми шинами системы, согласно изобретению, введены микро-ЭВМ, дисплей, цифроаналоговый преобразователь типа код-ток, кодовый вход которого соединен с первым входом-выходом микро-ЭВМ, токовые выходы соединены с токовыми шинами системы, аналого-цифровой преобразователь типа напряжение-код, входами соединенный с токовыми шинами системы, кодовым выходом соединенный со вторым входом-выходом микро-ЭВМ, цифро-управляемый коммутатор, включающий блок ключей прямого и инверсного включения, выполненный в виде двухполюсного переключателя прямого и инверсного включения, управляющий вход коммутатора соединен с

третьим входом-выходом микро-ЭВМ, два цифро-управляемых мультиплексора, включающие блоки ключей столбцов и строк матрицы, общие выводы ключей соединены с выходами цифро-управляемого коммутатора, управляющие входы мультиплексоров соединены с четвертым и пятым входом-выходом микро-ЭВМ, а дисплей соединен с шестым входом-выходом микро-ЭВМ.

Указанное включение дополнительных элементов и блоков системы обеспечивает гибкость системы и возможность программного управления как опросом датчиков, так и проведением дополнительных измерений при различных режимах работы диодных датчиков. Избыточность измерений и обработка их по предложенному алгоритму позволяет исключить погрешность измерения от непостоянства сопротивлений проводов, соединяющих каждый датчик с каналом измерительного преобразования, а также вариаций сопротивлений коммутирующих элементов и объемных сопротивлений самих датчиков. Благодаря дополнительным измерениям устраняется также влияние разброса параметров диода, влияющих на форму вольтамперной характеристики открытого р-п-перехода диода, что обеспечивает измерение падения напряжения независимо от лишающих его точности измерения факторов, благодаря чему повышается точность измерения температуры в любой точке контролируемого поля.

На фиг. 1 приведена многоточечная система измерения температуры с полупроводниковыми диодными датчиками; на фиг. 2 - блок-схема алгоритма работы системы.

Система содержит микро-ЭВМ 1, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) 2 типа код-ток, токовые шины 3.1 и 3.2, цифроуправляемый коммутатор 4, включающий блок ключей прямого и инверсного включения, выполненный в виде двухполюсного переключателя прямого 4.1 и инверсного 4.2 включения токовых шин, цифроуправляемые мультиплексоры 5 и 6, матрицу датчиков температуры 7, включающую две группы встречно-параллельных диодов, из которых группа диодов 8.11, 8.12.....8.nm включена встречно между столбцами и строками матрицы, а группа диодов 9.11, 9.12.....9.nm включена между теми же строками и столбцами матрицы, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 10 типа напряжение-код и дисплей 11.

Кодовые входы цифроаналогового преобразователя 2 соединены с первым входом-выходом микро-ЭВМ 1, аналоговые выходы соединены с токовыми шинами 3.1 и 3.2 системы, которые через цифроуправляемый коммутатор 4 соединены с выходами мультиплексоров 5 и 6. Входы мультиплексоров 5 и 6 соединены со строками и столбцами матрицы 7, в узлы которой включены встречно-параллельно группы диодов 8 и 9. Аналоговые входы аналого-цифрового преобразователя 10 подключены к токовым шинам 3.1 и 3.2, кодовые выходы соединены со вторым входом-выходом микро-ЭВМ 1. Управляющие входы цифроуправляемого коммутатора 4, цифроуправляемых мультиплексоров 5 и 6 соединены соответственно с третьим, четвертым и пятым входом-выходом микро-ЭВМ 1. Дисплей 11 соединен с микро-ЭВМ своим шестым входом-выходом.

Работа многоточечной системы измерения температуры (фиг. 1) осуществляется в режиме программного обмена данными между цифровыми и аналого-цифровыми блоками в соответствии с алгоритмом опроса датчиков-диодов и проведения дополнительных измерений в каждой контролируемой точке температурного поля (фиг 2).

По команде микро-ЭВМ 1 кодом No', внесенным в ее память, в цифроаналоговом преобразователе 2 формируется выходной ток  $I_1$ , который по токовым шинам 3.1 и 3.2 через цифроуправляемый коммутатор 4 с включенным в положении 4.1 двухполюсным переключателем прямого и инверсного включения и открытые каналы мультиплексоров 5 и 6 воздействует на матрицу 7 из датчиков-диодов. При измерении температуры в одной точке одним из датчиков-диодов группы 8, например, диодом 8.22 (на чертеже для наглядности число строк и столбцов матрицы ограничено и равно трем) по программе ЭВМ включаются каналы 5.2 и 6.2 соответствующих мультиплексоров. В результате этого при указанной полярности тока цифро-аналогового преобразователя 2 открывается диод 8.22 и через его р-п-переход начинает протекать ток  $I_1'$ .

Связь между током  $I_1'$  через открытый р-п-переход и падение напряжения  $U_1'$  на нем определяется прямой ветвью вольтамперной характеристики диода

$$I_1' = I_n \exp(-B/T) [\exp(qU_1'/kT) - 1], \quad (1)$$

где  $I_n$  - предельный ток насыщения при температуре  $T \rightarrow \infty$ ;

$B$  - коэффициент, зависящий от ширины р-п-перехода и имеющий размерность температуры;

$q$  - заряд электрона;

$k$  - постоянная Больцмана.

Учитывая, что при температуре  $T = 300$  К температурный потенциал перехода  $kT/q = 26$  мВ, а падение напряжения на открытом диоде  $U_1' > 0,5$  В, можно считать, что член  $\exp(qU_1'/kT) > 1$ . Тогда зависимость (1) можно представить в более простом виде

$$I_1' = I_n \exp(-B/T) \exp(qU_1'/kT). \quad (2)$$

Для исключения дополнительного нагрева датчика-диода протекающим током последний выбирает из условия  $I_1 < 0,5 I_n$ . При этом остальные диоды не оказывают влияние на значение тока открытого диода, так как они либо смещены в обратном направлении, либо их подключено несколько штук последовательно в прямом направлении. Благодаря резко экспоненциальной характеристике открытого р-п-перехода полупроводниковых диодов (2), токи утечки в обоих приведенных случаях малы. Поэтому можно считать, что  $I_1' = I_1$ .

Падение напряжения  $U_1$  на токовых шинах 3.1 и 3.2 от тока  $I$  больше падения напряжения  $U_1'$  на открытом р-п-переходе ( $U_1 > U_1'$ ) и, с учетом вольтамперной характеристики открытого диода (2), можно представить в виде

$$U_1 = kB/q - (kT_1/q) \ln(I_n/I_1) + R_1 I_1, \quad (3)$$

где  $T_1$  - температура в  $l$ -ой точке размещения диода-датчика, например, 8,22;

$R_1$  - суммарное сопротивление, включающее сопротивление электродов столбца и строки матрицы, объемных сопротивлений открытого диода 8.22, сопротивлений открытых каналов мультиплексоров 5.2 и 6.2, а также токовых шин 3.1 и 3.2.

Падение напряжения  $U_1$  преобразуется с помощью аналого-цифрового преобразователя 10 в цифровой код

$$N_1 = \alpha [k_B/q - (kT_1/q) \ln (I_n/I_1) + R_1 I_1] \quad (4)$$

где  $\alpha$  - масштабный коэффициент преобразования напряжения в код. Код  $N_1$  вводится в микро-ЭВМ 1 и хранится в ее памяти.

Затем ток  $I_1 = \beta N_0'$ , где  $\beta$  - масштабный коэффициент обратного преобразования, уменьшается в 5-10 раз. Для этого в процессоре микро-ЭВМ 1 программно формируется код

$$N_0' = a N_0', \quad (5)$$

где  $\alpha = 0,1 \dots 0,2$  - коэффициент уменьшения тока.

Соответственно коду (5) на выходе цифро-аналогового преобразователя 2 формируется второе значение тока

$$I_2 = a \beta N_0'. \quad (6)$$

Под действием тока  $I_1$  на токовых шинах 3.1 и 3.2 возникает падение напряжения

$$U_2 = k_B/q - (kT_1/q) \ln (I_n/I_2) + R_1 I_2, \quad (7)$$

которое с помощью аналого-цифрового преобразователя 12 преобразует в код

$$N_2 = \alpha [k_B/q - (kT_1/q) \ln (I_n/a I_1 + R_1 a I_1)], \quad (8)$$

Далее в процессоре микро-ЭВМ 1 программно формируется код тока

$$N_0''' = b N_0', \quad (9)$$

где  $b = 2 - a$  - коэффициент увеличения тока. Соответственно коду (9) формируется третье значение тока

$$I_3 = b \beta N_0' = (2 - a) \beta N_0'. \quad (10)$$

Код падения напряжения на токовых шинах 3.1 и 3.2 увеличивается до значения

$$N_3 = \alpha [k_B/q - (kT_1/q) \ln (I_n/b I_1 + R_1 b I_1)], \quad (11)$$

После проведения дополнительных измерений в процессоре микро-ЭВМ 1 вычисляется разность кодов в виде

$$\Delta N = (N_3 - N_1) - (N_1 - N_2) = N_3 + N_2 - 2N_1. \quad (12)$$

Подставляя в соотношение (12) коды из выражений (4), (8) и (11), получаем

$$\Delta N = \alpha [(kT_1/q) \ln (ab) + R_1(a+b-2)I_1]. \quad (13)$$

Учитывая соотношение между коэффициентами  $a$  и  $b$  из (5) и (9), получим

$$\Delta N = \alpha (kT_1/q) \ln [a(2-a)]. \quad (14)$$

Так как коэффициент уменьшения тока  $a$  согласно (5) выбран многим меньше единицы, то членом второго порядка малости ( $a^2$ ) можно пренебречь. Тогда

$$\Delta N = \alpha (kT_1/q) \ln (2a) = S T_1, \quad (15)$$

где  $S = \alpha (k/q) \ln (2a)$  - чувствительность преобразования температуры в код.

Из выражения (15) следует, что измеряемая температура в заданной точке контроля вычисляется по формуле

$$T_1 = \Delta N/S. \quad (16)$$

Как видно из полученного выражения (16), результат измерения не зависит от сопротивления  $R_1$ , а следовательно, от размещения датчика-диода в пространственной матрице-сетке. Кроме того, результат не зависит от индивидуальных параметров диодов ( $B$  и  $I_n$ ), по которым существует большой технологический разброс. Благодаря этому, повышается точность измерения температуры в заданных точках. Изменением состояния каналов мультимплексоров 5 и 6 производится поочередное подключение диодов-датчиков 8.11, 8.12..... 8.n.m при включенном положении 4.1 двухполюсного переключателя коммутатора 4. Управление каналами мультимплексоров 5 и 6 производится непосредственно от микро-ЭВМ 1 по программе опроса датчиков. При этом, в каждом включенном датчике-диоде ток через р-п-переход устанавливается на трех уровнях ( $I_1$ ,  $a I_1$ ,  $b I_1$ ), а температура вычисляется по формуле (16). Сопротивления открытых каналов мультимплексоров 5 и 6 не влияют на результат измерения температуры.

При измерении температуры одним из датчиков группы 9 по команде микро-ЭВМ 1 двухполюсный переключатель коммутатора 4 переключается в положение 4.2. В результате этого, изменяется полярность тока, протекающего через строки и столбцы матрицы. Опрос датчиков-диодов производится подключением каналов мультимплексоров 5 и 6. Например, для датчика-диода 9.22 по программе микро-ЭВМ открываются каналы 5.2 и 6.2 соответствующих мультимплексоров. Остальные датчики-диоды по указанным выше причинам не оказывают влияния на ток, а следовательно, и на падение напряжения подключенного диода.

Для каждого включения диода измерение температуры проводится также при токах  $I_1$ ,  $a I_1$  и  $b I_1$ , а результат измерения вычисляют по формуле (16). Изменением состояния каналов мультимплексоров 5 и 6 производится поочередное подключение диодов 9.11, 9.12.....9.nm при указанном положении двухполюсного переключателя коммутатора 4.

Результаты измерений температуры датчиками-диодами группы 8 и группы 9 матрицы 7 отражаются на дисплее 11, который подключен к микро-ЭВМ 1. Независимость результатов измерений от индивидуальных

параметров диодов позволяет легко увеличивать число контролируемых точек введением дополнительных столбцов и строк матрицы и включением в узлы новых диодов без жесткого отбора их по параметрам.

Высокая разрешающая способность многоточечной системы измерения определяется коэффициентом  $a$ , от которого согласно выражению (15) зависит чувствительность преобразования  $S$ . Уменьшение этого коэффициента приводит к росту чувствительности ( $\ln(a) \rightarrow \infty$ ). Однако с уменьшением тока  $I_2 = aI_1$  увеличивается влияние шумов и помех на измеряемое падение напряжения. Поэтому коэффициент  $a$  целесообразно выбирать в пределах, указанных выражением (5) ( $a = 0,1 \dots 0,2$ ). При этом, коэффициент  $b$  в соотношении (9) однозначно определяется равенством  $a + b = 2$ , которое обеспечивает равенство нулю второго члена в уравнении (13). При этом ток  $I_3 = bI_1$  асимптотически приближается к удвоенному значению первого тока ( $I_2 \rightarrow 2I_1$ ). Так как ток  $I$  выбран меньше обратного тока насыщения ( $I_1 < 0,5I_n$ ), то исключается дополнительный нагрев диода протекающим током ( $I_2 \rightarrow I_n$ ).

Использование в качестве термодатчиков серийно выпускаемых диодов без отбора по параметрам позволяет заменить в многоточечных системах измерения температуры высокоточные и стабильные термодатчики из благородных металлов на дешевые и более чувствительные полупроводниковые.

Работа многоточечной системы измерения температуры осуществляется автоматически в соответствии с блок-схемой алгоритма, представленной на фиг. 2.

Перед началом работы системы в память микро-ЭВМ 1 заносят исходные данные о датчиках и аппаратных средствах (оператор 1): о размерности матрицы ( $n$ -строк и  $m$ -столбцов), значение первого тока  $I_1$ , коэффициенты уменьшения  $a$  и увеличения  $b$  тока, коэффициент прямого  $\alpha$  и обратного  $\beta$  преобразования, а также константы  $k$  и  $q$  характеристики диодов. Далее осуществляется опрос датчиков в узлах матрицы. Вначале двухполюсным переключателем коммутатора 4 (оператор 3) устанавливается направление тока, при котором открываются верхние по схеме матрицы диоды ( $p = 0$ ). Затем опрос начинается с диода, расположенного в первом узле матрицы (оператор 9) установкой каналов мультиплексоров 5 и 6 в исходном положении ( $i = 1, j = 1$ ). С помощью признака  $L$  операторов 10, 11 формируется значение кода тока  $p$ - $n$ -перехода в соответствии с выбранными коэффициентами изменения тока  $a$  и  $b$  (операторы 13...15). Полученные код  $N$  подается на ЦАП 2 (оператор 16) и считывается код АЦП 10 (оператор 17) падения напряжения на включенном диоде в первом узле матрицы. Оператором сравнения 18 и оператором 19 организуется формирование кода второго значения тока (операторы 14, 16, 17) и третьего значения тока (операторы 15, 16, 17). После получения трех значений кодов (оператор 17) оператором сравнения 18 дается команда на вычисление суммарного кода (оператор 20), а также на вычисление чувствительности преобразования  $S$  (оператор 21). Температура в точке расположения датчика вычисляется по формуле (16) и выводится на дисплей (оператор 22).

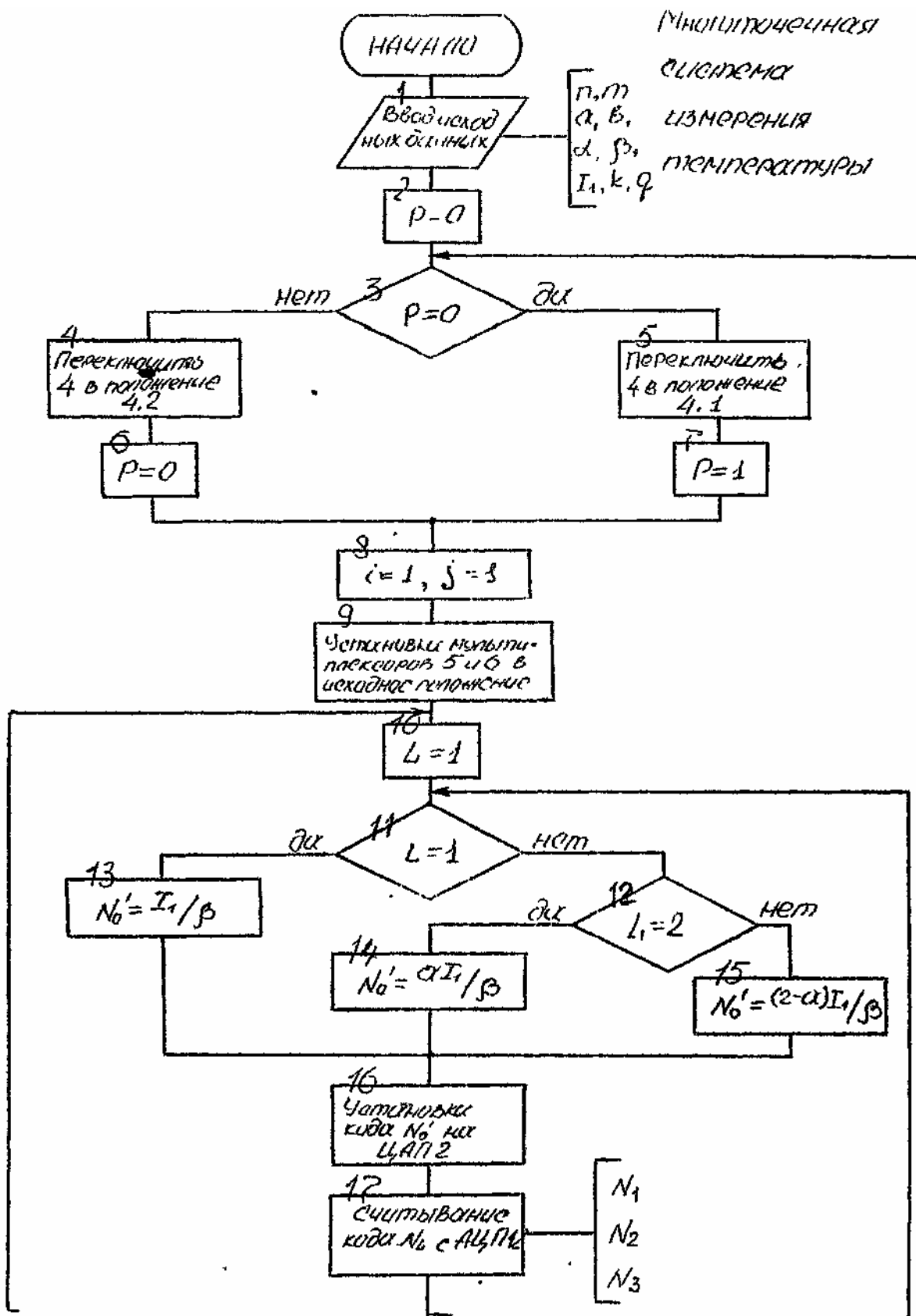
Далее происходит последовательный опрос узлов матрицы. Для перехода во второй узел матрицы мультиплексор 6 переключается на второй столбец ( $l = 2$ ), а мультиплексор 5 остается в прежнем положении ( $0 = 1$ ).

После перебора всех столбцов матрицы в первой строке ( $i = m$ ), через оператор сравнения 24 происходит увеличение номера строки ( $j = j + 1$ ) и установка первого столбца. Мультиплексор 5 переключается на вторую строку матрицы (оператор 28), а мультиплексор 6 подключает первый столбец матрицы с последующим перебором всех столбцов матрицы во второй строке ( $l = m$ ). Далее мультиплексор 5 переключается на третью строку и т.д. до перебора всех строк  $0-n$ ).

После завершения опроса всех датчиков, расположенных в узлах матрицы, получение положительного ответа в операторах 23 и 24 и отсутствие признака "конец измерений" (оператор 29) управление передается оператору 3 анализа направления пропускания тока и по значению индекса  $p$  происходит переключение двухполюсного переключателя коммутатора 4 на противоположное. После этого полностью повторяется опрос и определение температуры во всех узлах матрицы для диодов, включенных во встречном направлении.

Благодаря трехтактному режиму измерения падения напряжения на каждом узле матрицы полностью устраняется влияние неинформативных термозависимых параметров вольт-амперной характеристики диодов, создается возможность замены диодов в узлах матрицы без первоначального подбора их характеристик, а исключение влияния сопротивлений электродов матрицы позволяет расширять ее без снижения точности измерения температуры.





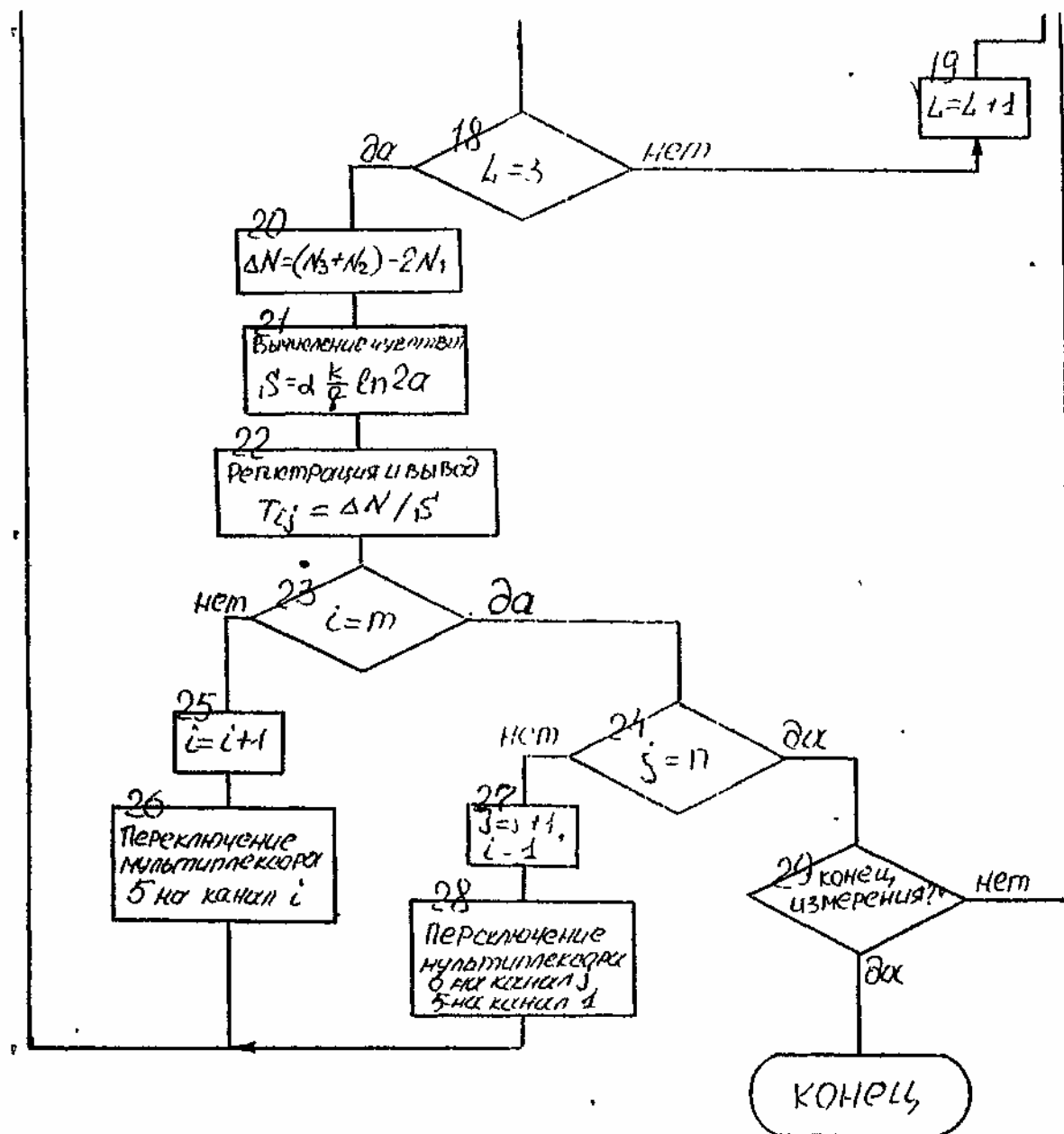


Рис 2