

УДК 531.7+621.317

В. П. КИРЬЯНОВ, И. Ф. КЛИСТОРИН, А. М. ЩЕРБАЧЕНКО  
 (Новосибирск)

### ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО СЧЕТА И РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Широкое внедрение интерференционных методов измерения перемещений стало возможным благодаря использованию высоких метрологических характеристик оптических квантовых генераторов (лазеров) [1] и созданию удобных устройств счета и регистрации результата измерения [2—4].

Данная статья посвящена рассмотрению реализации одного из принципов построения электронного устройства счета и регистрации лазерного измерителя перемещений (ЛИП), в котором применена одна из модификаций двухлучевого интерферометра Майкельсона [5].

Для двухлучевого интерферометра интенсивность суммарного пучка в каждой точке поля интерференции определяется выражением

$$j = j_0 \left( 1 + m \cos 2\pi \frac{\delta}{\lambda/2} \right), \quad (1)$$

где  $j_0$  — интенсивность опорного луча;  $m$  — коэффициент контрастности полос, приблизительно равный единице;  $\delta$  — разность оптического хода лучей;  $\lambda$  — длина излучения источника света.

Следовательно, электрический сигнал с выхода фотоэлектрического преобразователя (ФЭП), помещенного в некоторую точку поля интерференции, может быть представлен в виде

$$u_{\text{вых}} = u_0 \left( 1 + m \cos 2\pi \frac{\delta}{\lambda/2} \right). \quad (2)$$

Как следует из (2), величина перемещения может быть получена из выражения для фазового угла  $\varphi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda/2}$  переменной составляющей выходного сигнала ФЭП

$$\Delta \delta = \frac{\lambda}{2} \frac{\Delta \varphi}{2\pi}. \quad (3)$$

Очевидно, что общее перемещение может быть найдено в виде суммы элементарных приращений  $\Delta \delta$ :

$$S = \sum_{i=0}^n \Delta \delta = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{4\pi} \sum_{i=0}^n \Delta \varphi_i \quad (4)$$

или при  $\Delta\delta \rightarrow 0$

$$S = \frac{\lambda}{4\pi} \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} d\varphi = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{2\pi} (\varphi_k - \varphi_0), \quad (5)$$

где  $\varphi_k$  — конечное значение полной фазы;  $\varphi_0$  — начальное значение фазы. Если в  $\varphi_k$  выделить целочисленную часть, кратную  $2\pi$ , то получим выражение

$$S = \frac{\lambda}{2} (2\pi N + \varphi'_k - \varphi_0) = \frac{\lambda}{2} N + \frac{\lambda}{2\pi} (\varphi'_k - \varphi_0). \quad (6)$$

Реализация этого соотношения в измерителях перемещения подразумевает отдельный счет интерференционных полос и отдельное определение дробной части полосы, например методом интерполяции [6]. Данный принцип особенно пригоден для измерения малых значений перемещений. Лазерный измеритель перемещений является уникальным прибором для измерения сравнительно больших перемещений ввиду высокой различимости интерференционных полос. Однако при относительно больших перемещениях начинает существенно сказываться нестабильность длины волны излучения лазера. Современные средства активной стабилизации частоты излучения лазера позволяют снизить относительную долговременную нестабильность частоты до  $1 \cdot 10^{-7}$ . При измерении перемещений в диапазоне одного метра данный уровень нестабильности частоты позволяет реализовать эффективную разрешающую способность ЛИП до  $1 \cdot 10^{-7}$  м. По этой причине в ЛИП используют непосредственное квантование сигнала с шагом, определяемым эффективной разрешающей способностью. Так, для ЛИП, использующего гелий-неоновый лазер с разрешающей способностью в 0,1 мкм при перемещениях до 1 м, текущее значение фазы переменной составляющей выходного сигнала может быть эффективно проквантовано с шагом дискретности не менее чем  $\frac{\pi}{2}$ . В этом случае выражение (3) принимает вид

$$S = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^n \frac{\pi}{2} X_i = \frac{\lambda}{8} \sum_{i=0}^n X_i, \quad (7)$$

где

$$X_i = \begin{cases} +1, & \text{если } \frac{d\varphi_i}{dt} > 0; \\ -1, & \text{если } \frac{d\varphi_i}{dt} < 0. \end{cases}$$

Знак направления изменения фазы для каждого дискретного значения  $\varphi_i$  определяется известными методами [7], чаще всего по временным соотношениям между основным сигналом и его производной по  $\varphi$  либо по вспомогательным сигналам, сдвинутым относительно основного на  $\pm \frac{\pi}{2}$ .

По сравнению с обычными цифровыми приборами ЛИП имеет некоторые особенности, заключающиеся в том, что здесь шаг квантования аналоговой величины не кратен основанию системы счисления, принятой в устройстве регистрации. По этой причине в схеме ЛИП присутствует специальное множительное устройство, осуществляющее предварительную обработку результата измерения с целью представления его в принятой системе единиц, например в метрической.

В настоящее время в лазерных измерителях перемещений получил применение итерационный алгоритм умножения, суть которого состоит в том, что из потока электрических импульсов по определенному алго-

ритму опускаются импульсы в моменты, когда погрешность вычисления достигает заданной. В общем случае выделение этих моментов времени требует достаточно сложной реализации множительного устройства. Поэтому итерационные алгоритмы, как правило, организуются таким образом, чтобы каждая последующая ступень итерации была кратна предыдущей. Подобный алгоритм описан, например, в [3]. Здесь длительность каждой ступени итерации  $C_k$  может быть определена из общего выражения

$$C_k = \left[ \frac{h \prod_{i=1}^k \left(1 + \frac{1}{C_{i-1}}\right)}{\varepsilon - h \prod_{i=1}^k \left(1 + \frac{1}{C_{i-1}}\right)} \right], \quad (8)$$

где  $k$  — номер итерации;  $h$  — шаг квантования;  $\varepsilon$  — цена деления в метрической системе единиц;  $C_0 = 1$ . Из выражения (8) значения интервалов первых трех ступеней итерации получаются равными +3, —19 и +1234 соответственно при выбранной цене деления  $\varepsilon = 0,1$  мкм и шаге квантования  $h = 0,07910248$  мкм. Последний соответствует  $\frac{1}{8} \lambda$  гелий-неонового лазера при температуре  $T = 20^\circ\text{C}$ , давлении  $p = 10$  мм рт. ст. и влажности  $e = 10$  мм рт. ст. Знак «+» перед коэффициентами  $C_1$  и  $C_3$  означает, что из общей последовательности импульсов опускается импульс счета, а знак «—» перед коэффициентом  $C_2$  восстанавливается из серии запрещенных импульсов. Максимальное значение погрешности вычисления в этом случае определяется выражением

$$\delta \leq \frac{k+1}{2} \varepsilon \quad (9)$$

и не превышает 0,2 мкм при перемещении до 4,8 м. Своеобразно в ЛИП решаются проблемы компенсации возмущающего воздействия внешней среды. Зависимость длины волны  $\lambda$  от изменения внешних условий является основным дестабилизирующим фактором в ЛИП. Исключение всякого воздействия среды на излучение лазера с помощью, например, вакуумных телескопических систем, как предложено в [8], снимает вопросы компенсации. Однако все же существенно большие возможности открываются при использовании специальных автоматических или полуавтоматических систем компенсации влияния окружающей среды. Такие системы дают возможность, например, компенсировать температурные изменения не только  $\lambda$ , но и самого объекта измерения [3]. Пусть изменение внешних условий (температуры  $T$ , давления  $p$  и влажности  $e$ ) приводит к некоторому изменению длины волны излучения  $\delta\lambda$ :

$$\lambda(T, p, e) = \lambda_0 + \delta\lambda. \quad (10)$$

Считая изменения внешних условий медленными, т. е. выполняется требование, что за время измерения окружающая среда остается неизменной, из выражения (7) получим

$$S = S_0 + \Delta S = \frac{\lambda_0}{8} \sum_{i=0}^n X_i + \frac{\delta\lambda}{8} \sum_{i=0}^n X_i. \quad (11)$$

Можно найти такое число  $n$ , когда

$$\frac{\delta\lambda}{8} \sum_{i=0}^n X_i = \lambda_0. \quad (12)$$

Тогда по достижении этого числа можно ввести с соответствующим знаком корректирующий импульс на вход устройства обработки. Как показано в [5], для практически возможного диапазона изменения параметров при проведении прецизионных измерений операцию ввода корректирующего импульса наиболее целесообразно связать с числом циклов третьей ступени итерации.

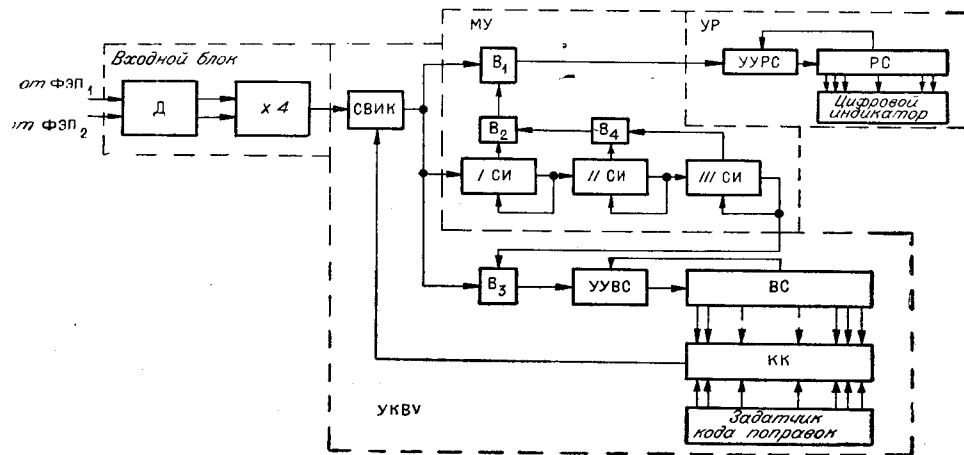


Рис. 1.

На рис. 1 приведена укрупненная структурная схема устройства счета и регистрации ЛИП. Устройство состоит из входных блоков (дискриминатора Д, учетверителя), блока умножения (схемы первой, второй и третьей ступеней итерации *ИСИ*; *ИИСИ* и *ИИСИ* соответственно), устройства полуавтоматической коррекции на изменение внешних условий (УКВУ) устройства регистрации (УР).

Выходные сигналы ФЭП, сдвинутые относительно друг друга на  $\pm \frac{\pi}{2}$ , поступают на вход дискриминатора Д. Дискриминатор определяет моменты прохождения сигнала через фиксированные значения, фазы которых равномерно распределены внутри интервала  $2\pi$  с шагом  $\frac{\pi}{2}$ . Следующий блок, так называемый учетверитель, по выходным сигналам дискриминатора Д производит выделение сигнала направления перемещения и формирования счетных импульсов, соответствующих моменту прохождения сигнала через фиксированное значение  $\varphi_i$ . Импульсы, сформированные здесь по амплитуде и длительности, поступают параллельно на блок умножения и на вентили  $B_1$  и  $B_2$ . Схема первой ступени итерации *ИСИ* удерживает вентиль  $B_1$  в состоянии «открыто» до момента поступления четвертого импульса, который в соответствии с описанным выше алгоритмом блокируется. Таким образом, схема *ИСИ* пропускает через вентиль  $B_1$  на вход устройства регистрации три импульса, а четвертым возбуждает схему второй ступени итерации *ИИСИ* и сбрасывает себя в исходное состояние. После этого цикл первой ступени итерации повторяется. Каждый 19-й импульс, поступающий на вход счетчика РС, является импульсом коррекции второй ступени и восстанавливается из импульсов входного потока посредством операции блокирования на вентиле  $B_3$  в шестом цикле первой ступени итерации. Восстановленный та-

ким образом 19-й импульс поступает в регистрирующий счетчик, а также возбуждает схему третьей ступени итерации ПСИ и устанавливает схему ПСИ в исходное состояние. Этот цикл повторяется до тех пор, пока в регистрирующий счетчик не поступает 1234 импульса. Следующий 1235-й импульс должен быть вновь заблокирован для поступления в РС. Запрещенный для прохождения в РС 1235-й импульс устанавливает схему ПСИ в исходное состояние. Кроме того, схема ПСИ на время поступления 1235-го импульса открывает вентиль  $V_2$ . Поэтому 1235-й импульс поступает на вход вспомогательного счетчика ВС, который подсчитывает число циклов третьей ступени итерации, повторяющееся через каждые 1234 импульса, поступивших на вход РС. В тот момент, когда число циклов третьей ступени, зафиксированное во вспомогательном счетчике ВС, станет равным числу  $k$ , поданному на вторые входы компаратора кодов КК, последний вырабатывает импульс коррекции на изменение внешних условий. Как указывалось в [5], число  $k$  является кодированным значением суммарного эффекта влияния внешних условий, приведенных к числу циклов третьей ступени итерации. Это кодированное значение или поправка на внешние условия задается оператором с учетом знака отклонения внешних условий от исходных, для которых поправка равна 0. Поэтому импульс коррекции, выработанный компаратором кодов КК, вводится во входной поток импульсов с учетом знака отклонения с помощью специальной системы ввода импульса коррекции СВИК. Все указанные операции автоматически повторяются до момента прекращения движения. Величина перемещения считывается с цифрового индикатора.

Рассмотрим более подробно работу устройства счета и регистрации ЛИП с помощью функциональных и принципиальных схем отдельных его узлов и элементов, к которым относятся: дискриминатор, учетверитель, блок умножения, устройство регистрации и устройство ввода поправок на изменение внешних условий.

**Дискриминатор** производит выделение моментов прохождения сигнала через дискретные значения, фаза которых распределена равномерно внутри интервала  $2\pi$  с шагом  $\frac{\pi}{2}$ . Выделение дискретных значений существенно упрощается за счет введения для определения направления перемещения дополнительного сигнала, фаза которого смещена на  $\frac{\pi}{2}$ .

Эти дискретные значения могут быть выделены в точках прохождения переменных составляющих основных и вспомогательного сигналов через нулевое значение. Очевидно, что этим моментам будут соответствовать фазовые углы  $0, \frac{\pi}{2}, \pi$  и  $\frac{3}{2}\pi$ . Однако выходные сигналы ФЭП неизбежно содержат различного рода помехи малой амплитуды, которые при точной дискриминации момента перехода через нуль дают высокочастотные колебания. Эти паразитные колебания принципиально не вносят ошибки в результат измерения, так как интегрируются в реверсивном счетчике, но при повышенных скоростях перемещения за счет этих колебаний, ввиду ограниченного быстродействия счетных схем, резко повышается вероятность просчета. А так как в цифровых приборах данного типа случайные ошибки накапливаются, то следует принимать меры, устраняющие возникновение этих колебаний. Использование гистерезиса релаксационных схем, например триггера Шмитта, позволяет наиболее просто избавиться от этого эффекта (рис. 2,  $a-e$ ). Если при этом ширина зоны гистерезиса больше амплитуды помехи и среднее значение зоны гистерезиса совмещено со значением постоянной составляющей выходного сигнала  $u_0$ , то два триггера Шмитта с равными значениями ширины

зоны гистерезиса осуществляют равномерное квантование фазы с шагом  $\frac{\pi}{2}$  и начальным сдвигом  $\pm\varphi_0$  (см. рис. 2, д). На рис. 3 приведена принципиальная схема одного триггера Шмитта, используемого в дискриминаторе. Триггер Шмитта собран по обычной схеме на транзисторах  $T_4$ ,  $T_5$ . Транзисторы  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  составляют входной эмиттерный повторитель, транзистор  $T_6$  образует выходной эмиттерный повторитель. Ширина зоны

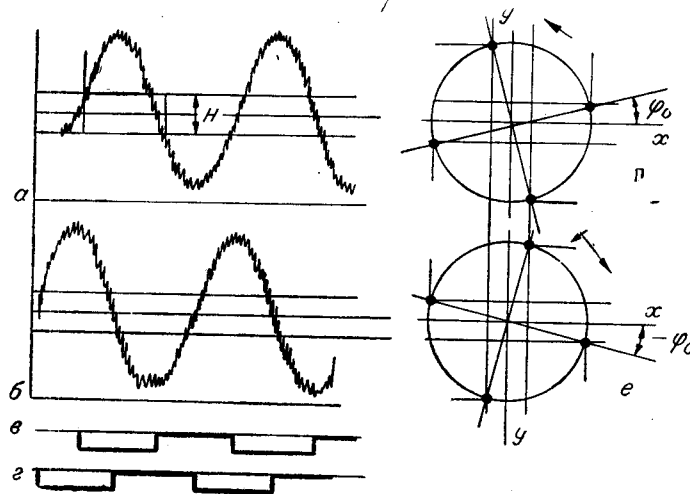


Рис. 2.

гистерезиса регулируется в некоторых пределах с помощью резистора  $R_{10}$  в коллекторной цепи  $T_5$ . Точная юстировка ширины зоны гистерезиса и положения ее среднего значения относительно среднего значения выходного сигнала производится с помощью резистора  $R_1$  и кнопки  $K_1$ . Юстировка производится при замкнутом положении кнопки  $K_1$  на фазовом круге, наблюдаемом на экране осциллографа, посредством подачи фронтов выходного сигнала триггера с помощью дифференцирующей емкости  $C_2$  на вход повторителя  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  (см. рис. 2, д и е). Здесь приведены типичные эпюры напряжений для двух направлений перемещения.

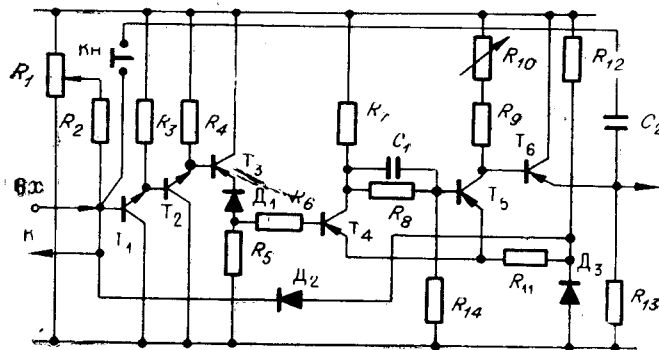


Рис. 3.

перемещения, на рис. 4, в, г — соответствующие эпюры напряжений на выходах дискриминатора. Счетные импульсы формируются из передних и задних фронтов выходных сигналов дискриминатора. Если высокие уровни выходных напряжений дискриминатора обозначить как  $A$  и  $B$ , низкие уровни —  $\bar{A}$  и  $\bar{B}$ , а переходы от низкого уровня к высокому как  $A'$  и  $B'$  и от высокого уровня к низкому —  $A''$  и  $B''$ , то одному направлению перемещения может быть поставлена в соответствие логическая функция

$$L_1 = A'\bar{B} \vee B'A \vee \bar{A}'B \vee \bar{B}'\bar{A}, \quad (13)$$

а противоположному —

$$L_2 = A'B \vee B'\bar{A} \vee A''\bar{B} \vee \bar{B}'A. \quad (14)$$

На рис. 4, д, е показаны импульсы, сформированные из перепадов выходных напряжений дискриминатора, а на рис. 4, ж, з — реализация логических функций (13) и (14). Функциональная схема учетверителя приведена на рис. 5. Данная схема учетверителя обеспечивает пространственное разделение счетных импульсов по каналам счета «+» и «-».

Блок умножения итерационного типа выполнен в соответствии с описанным алгоритмом в виде трех специальных пересчетных схем.

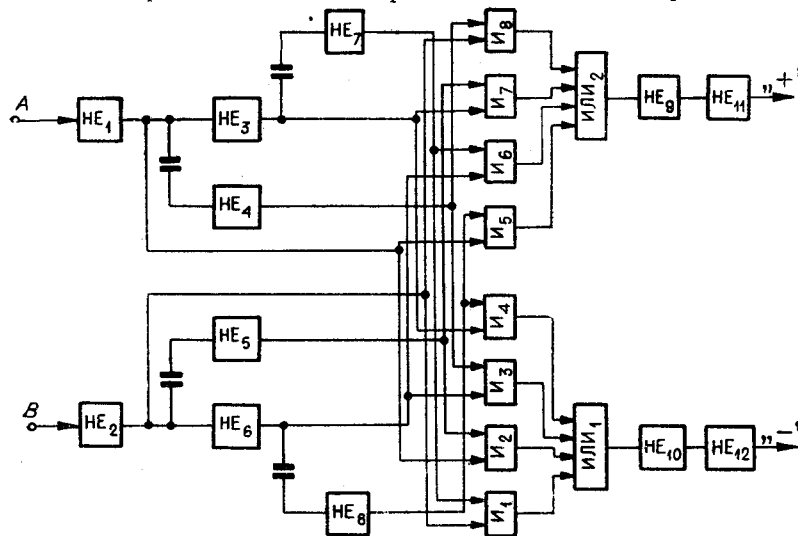


Рис. 5.

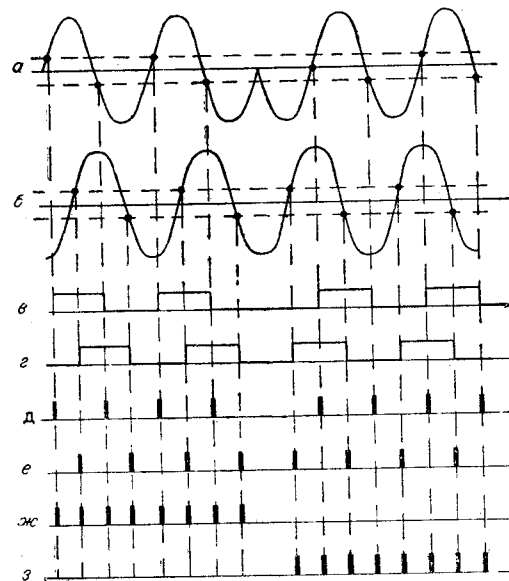


Рис. 4.

состоянии «открыто» до набора в  $T_1$  и  $T_2$  кода числа 3, тем самым пропуская необходимые три импульса дальше на выход. Четвертый импульс

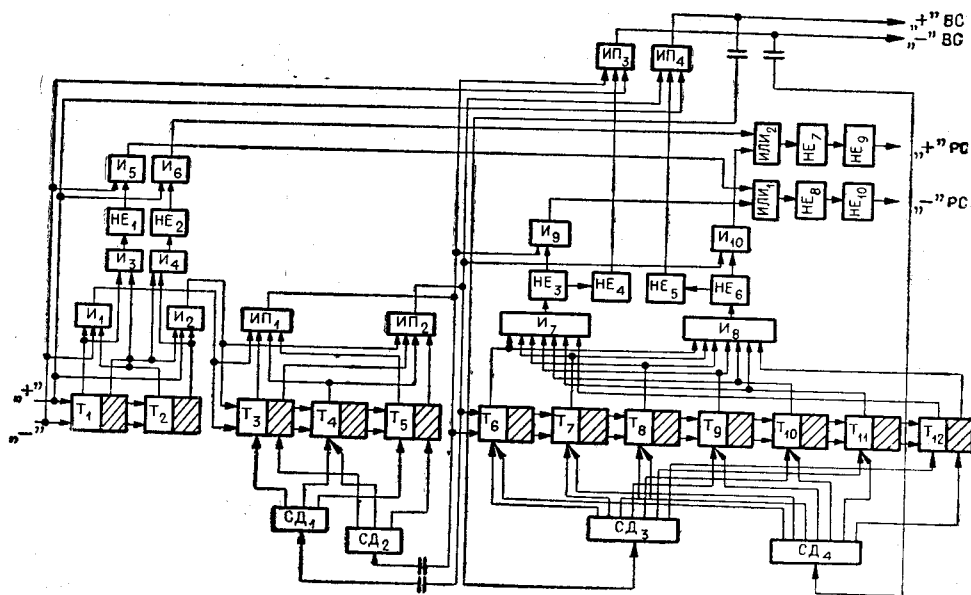


Рис. 6.

устанавливает  $T_1$  и  $T_2$  в «0». Для устранения дополнительных задержек этот же импульс через схему  $I_2$  передается как сигнал сквозного переноса на схему второй ступени итерации ( $ИСИ$ ). Три триггера  $T_3$ — $T_5$ , логические схемы  $ИП_1$ — $ИП_2$  и диодные сборки  $СД_1$  и  $СД_2$  образуют схему  $ИСИ$ . Логические схемы  $ИП_1$  и  $ИП_2$  представляют собой сочетание диодной логической схемы  $I$  и усилителя мощности на эмиттерном повторителе с двумя выходами: импульсным и потенциальным. Импульсные выходы  $ИП_1$  и  $ИП_2$  управляют диодными сборками  $СД_1$  и  $СД_2$ , через которые производится сброс  $T_3$ — $T_5$  в исходное состояние. Коэффициент пересчета в схеме  $ИСИ$  равен шести. Следовательно, каждый шестой импульс от схемы  $ИСИ$  проходит через логические схемы  $ИП_2$ ,  $ИП_{10}$  на логическую схему  $ИЛИ_2$ , где смешивается с выходными импульсами  $ИСИ$  (см. рис. 7,  $м$ ). Число импульсов, поступивших на РС, равно  $N_2 = 3 \cdot 6 + 1 = 19 = C_2$ . Этот же импульс устанавливает  $T_3$ — $T_5$  в исходное состояние и, как сигнал сквозного переноса (то же для сокращения задержек), возбуждает схему третьей ступени итерации ( $ИИСИ$ ).  $T_6$ — $T_{12}$ , логические схемы  $И_7$ — $И_{10}$ , инверторы  $НЕ_3$ — $НЕ_6$  образуют схему  $ИИСИ$ . Коэффициент пересчета схемы  $ИИСИ$  равен 65. С учетом пересчета в предыдущих ступенях схема позволяет блокировать каждый 1560-й импульс входной последовательности, пропуская на вход РС число импульсов, равное

$$N_3 = 64 \cdot 19 + 3 \cdot 6 = 1234 = C_3.$$



Достигается это за счет того, что схема  $I_8$  открывается после набора в  $T_6—T_{12}$  кода числа 64. Схема  $I_8$  включает инвертор  $HE_6$ , который на время прохождения 19 входных импульсов закрывает схему  $I_{10}$ , тем самым запрещая прохождение импульса коррекции 65-го цикла  $ИСИ$ , и, напротив, подключенный к выходу  $HE_6$  инвертор  $HE_5$  открывает  $ИП_4$ , пропуская тем самым каждый 1560-й импульс на вход вспомогательного счетчика  $ВС$ . Этот же импульс устанавливает  $T_6—T_{12}$  в исходное состояние. Сбросом в исходное состояние триггеров  $T_6—T_{12}$  и  $T_1—T_5$  заканчи-

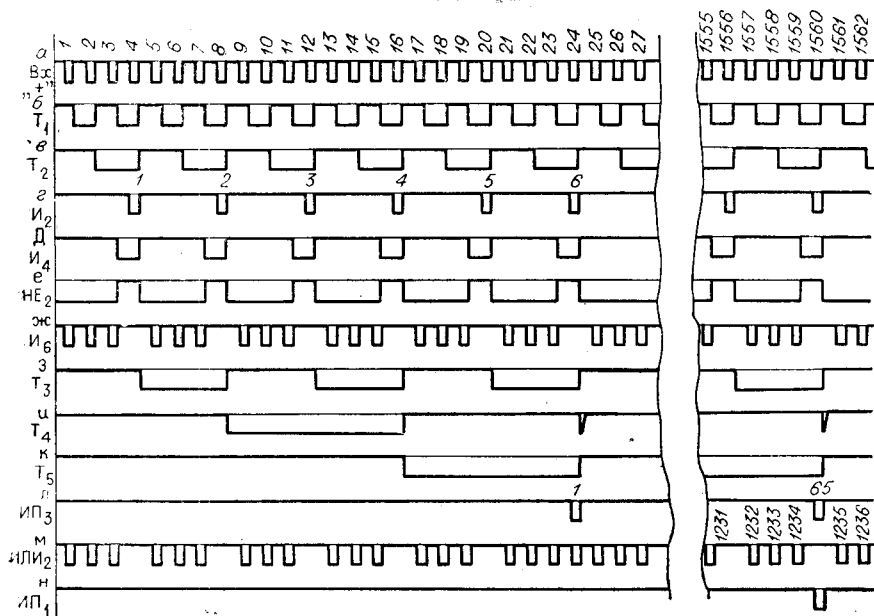


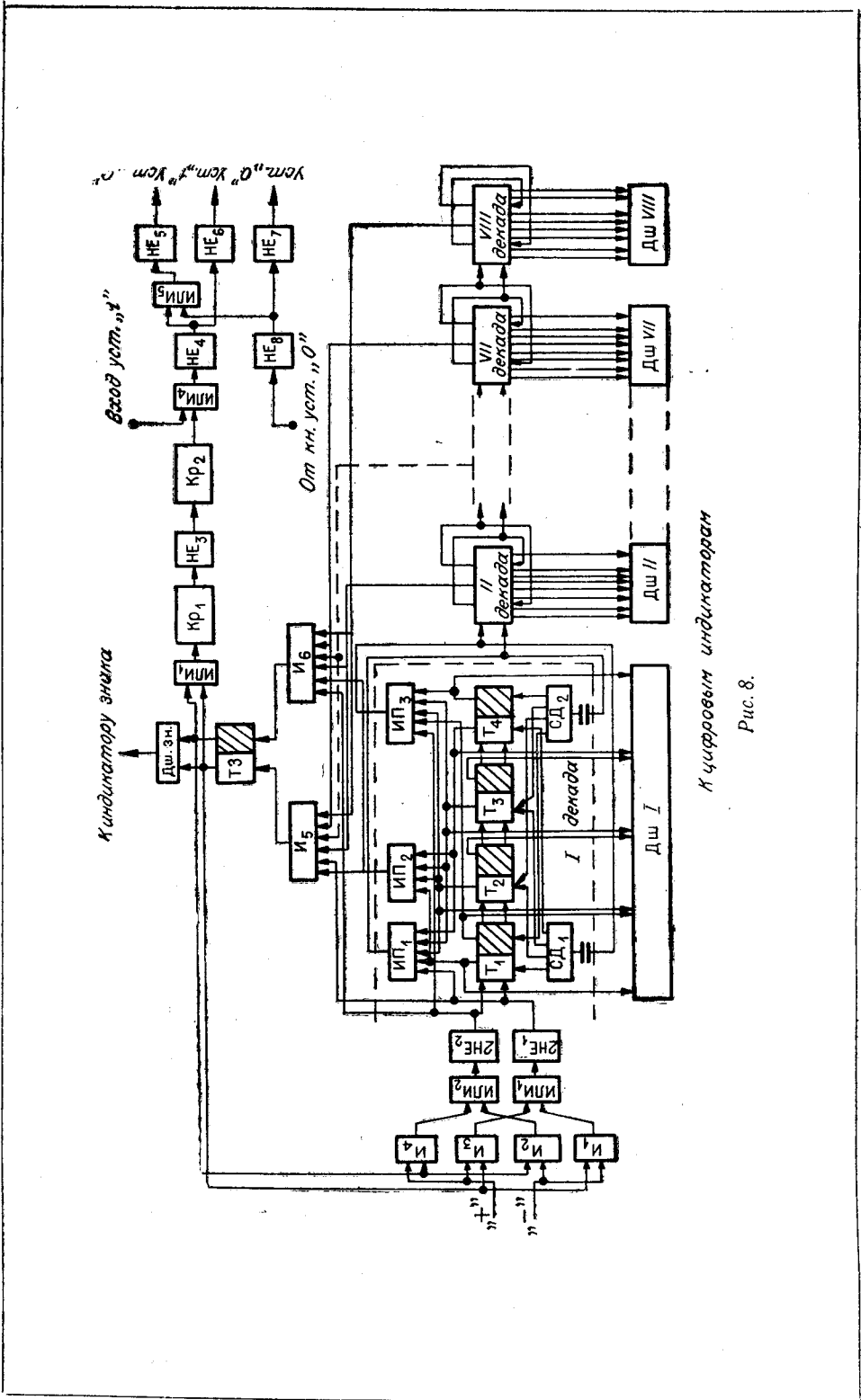
Рис. 7.

вается трехступенчатый цикл итерации, который затем вновь повторяется в той же последовательности.

**Устройство регистрации** состоит из 8-декадного реверсивного счетчика  $РС$ , устройства управления  $УУ$ , цифрового и знакового индикаторов. Функциональная схема устройства регистрации приведена на рис. 8. Реверсивный счетчик содержит восемь идентичных реверсивных декад со сквозным переносом, выполненных в коде 8—4—2—1. Цепи обратной связи для направлений счета «+» и «-» организуются с помощью схем  $ИП_1$ ,  $СД_1$  и  $ИП_2$ ,  $СД_2$  соответственно. В каждой декаде предусмотрена отдельная логическая схема для выделения состояния 0000 — логическая схема  $ИП_2$ .

Устройство управления выполняет следующие функции: 1) в соответствии с изменением направления движения меняет направление счета; 2) выделяет момент прохождения подвижного объекта через выбранное начало отсчета (через нуль); 3) в момент прохождения через нуль изменяет знак текущего значения координаты; 4) после прохождения через нуль вновь меняет направление счета с режима вычитания на режим суммирования.

Логические схемы  $I_5$  и  $I_6$ , объединяющие сигналы «0» от всех 8 декад, вырабатывают сигнал направления перемещения после момента прохождения через нуль. Одним из этих сигналов триггер знака ( $T_3$ ) устанавливается в состояние «+» или «-». Логические схемы  $I_2$ ,  $I_4$  и



К цифровым индикаторам

Рис. 8.

ИЛИ<sub>2</sub> реализуют так называемую функцию логической равнозначности, а схемы И<sub>1</sub>, И<sub>3</sub> и ИЛИ<sub>1</sub> — функцию логической неравнозначности, которым ставится в соответствие режим суммирования и вычитания соответственно. Таблица поясняет работу УУ.

Изменение состояния триггера знака ТЗ происходит только после поступления следующего за состоянием 00000000 импульса. Этот импульс одновременно проходит в счетчик и устанавливает его в состояние 99999999. Этот режим неудобен для визуальной регистрации, поэтому после окончания переходного режима кипп-реле Кр<sub>2</sub>, возбуждаемое кипп-реле Кр<sub>1</sub> с выдержкой времени чуть больше времени распространения переноса в восьмидекадном счетчике, формирует импульс сброса всех триггеров в «0», а Т<sub>1</sub> первой декады устанавливает в состояние «1». После этого в счетчике вновь производится возрастающий счет импульсов.

Знак направления перемещения	Знак содержимого регистрирующего счетчика	Знак направления счета в регистрирующем счетчике
+	+	+
+	—	—
—	+	—
—	—	+

Устройство ввода поправок на изменение внешних условий (рис. 9) состоит из вспомогательного реверсивного счетчика ВС, задатчика кода поправки, компаратора кодов (КК) и схемы ввода импульса коррекции (СВИК). Вспомогательный четырехдекадный реверсивный счетчик (ВС) по своей структуре аналогичен основному регистрирующему счетчику (РС) и поэтому более подробно здесь не рассматривается.

Задатчик кода поправки состоит из 4 аналогичных задатчиков кодов, которые состоят из переключателей на десять положений П, шифраторов (диодных матриц) десятичной цифры в двоично-десятичный код 8—4—2—1 и четырех инверторов (НЕ<sub>13</sub>—НЕ<sub>16</sub>), образующих инверсный двоично-десятичный код. Компаратор кодов реализует функцию логического соответствия переменных  $N$  и  $k$ , где  $N$  — число, записанное в счетчике ВС,  $k$  — код поправки. Компаратор кодов содержит четыре подекадных компаратора кодов, состоящих из логических схем И<sub>5</sub>—И<sub>12</sub>, ИЛИ<sub>5</sub>—ИЛИ<sub>9</sub> и инверторов НЕ<sub>9</sub>—НЕ<sub>12</sub> и НЕ<sub>20</sub>. Сигналы равенства кодов в декадах собираются с помощью схемы ИЛИ<sub>10</sub>, НЕ<sub>17</sub> для выработки сигнала равенства кодов чисел  $N$  и  $k$ . Выходной сигнал инвертора НЕ<sub>17</sub> устанавливает счетчик ВС в исходное состояние, а триггер Т в состояние «1». В свою очередь, триггер Т открывает входные логические схемы И<sub>1</sub>—И<sub>4</sub>, которые служат для выбора знака суммирования импульса коррекции. Здесь так же, как и в УУРС, логические схемы И, И<sub>3</sub> и ИЛИ<sub>2</sub> реализуют функцию логической равнозначности, а И<sub>2</sub>, И<sub>4</sub> и ИЛИ<sub>1</sub> — функцию логической неравнозначности. Таблица состояний аналогична таблице состояний для УУРС. Так, если изменение внешних условий отрицательно и соответственно знак поправки положителен, то при движении в любую сторону от нулевого положения импульс коррекции вводится во входной поток импульсов для компенсации нехватки импульса. Если же знак поправки отрицательный, то импульс коррекции вводится в канал счета, противоположный тому, по которому в этот момент поступают импульсы, с тем чтобы компенсировать избыток. Например, пусть перемещение происходит в направлении «+», а знак поправки «—». Триггер Т разблокирует все схемы И<sub>1</sub>—И<sub>4</sub>. После переброса Т входной импульс, поступающий по каналу счета «+», проходит через И<sub>4</sub> и ИЛИ<sub>1</sub> и возбуждает кипп-реле Кр<sub>1</sub>, имеющее выдержку времени несколько больше разрешающего времени счетных схем. Выходным импульсом кипп-реле Кр<sub>1</sub> возбуждает кипп-реле Кр<sub>2</sub>, которое формирует по амплитуде и длительности счетный импульс, сдвинутый относительно входных импульсов

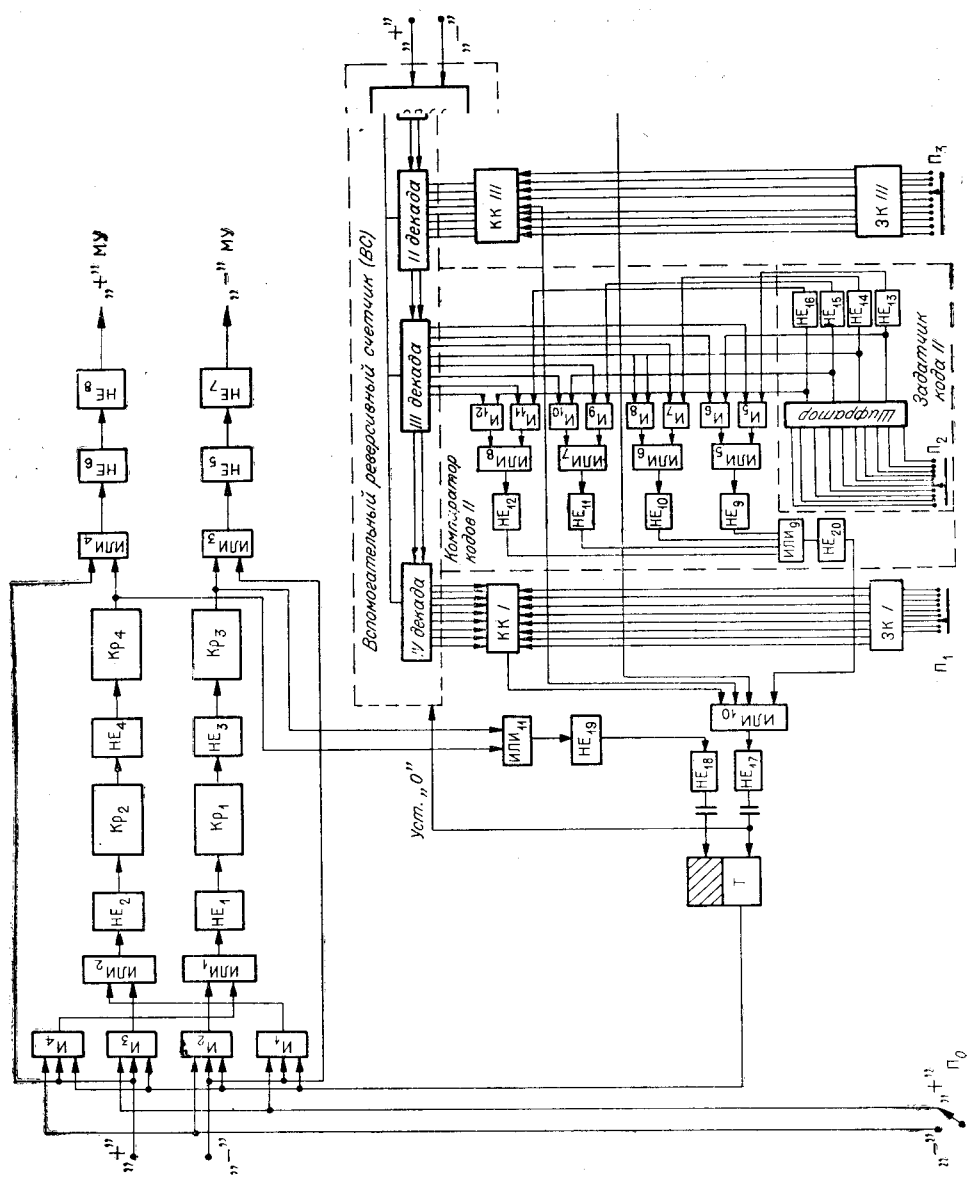


Рис. 9.

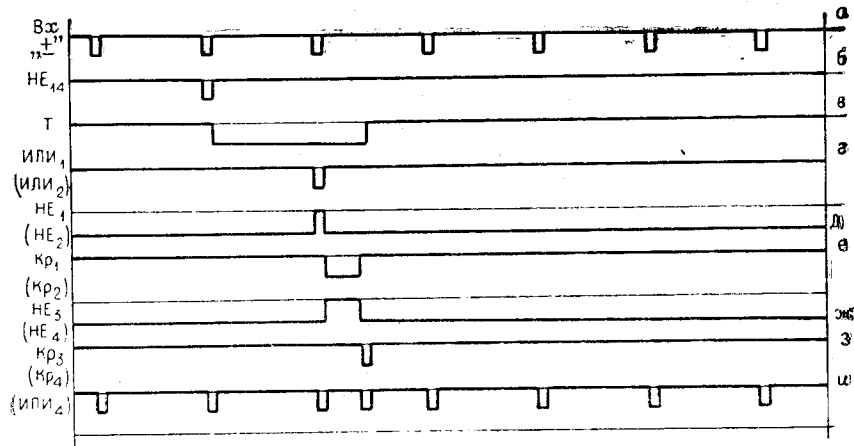


Рис. 10.

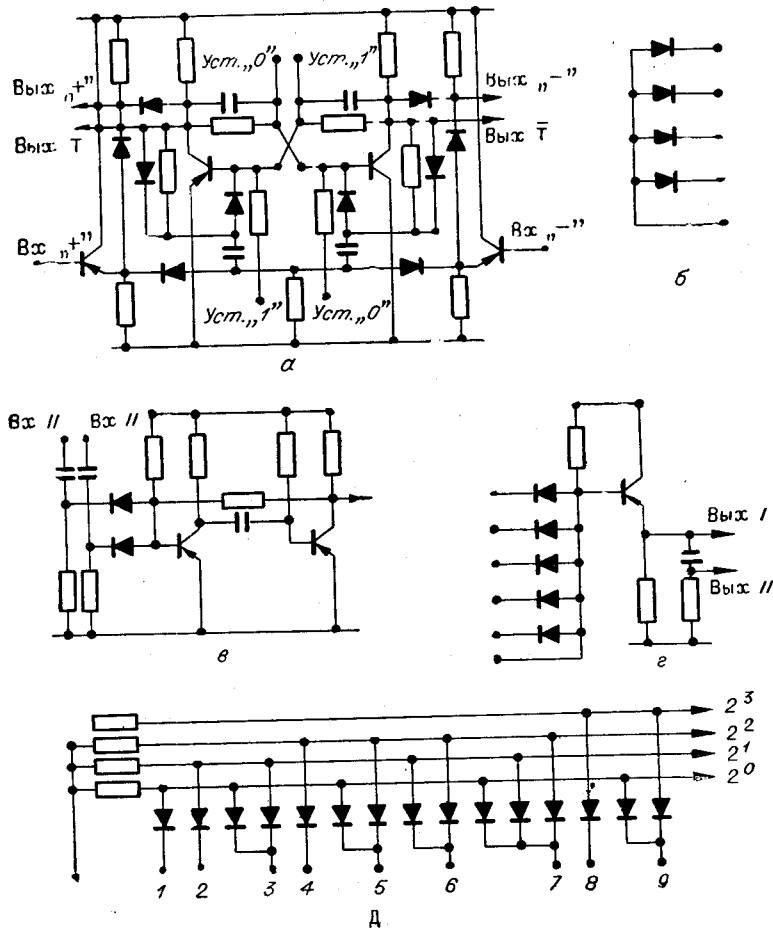


Рис. 11.

на время задержки  $Kp_1$ . Этот импульс через схемы ИЛИ<sub>3</sub>, НЕ<sub>5</sub> и НЕ<sub>7</sub> по каналу счета «—» подается на вход множительного устройства, а также через схемы ИЛИ<sub>11</sub>, НЕ<sub>15</sub> и НЕ<sub>19</sub> на сброс триггера Т в состоянии «0», блокируя тем самым схему введения импульса коррекции. Если же знак поправки «+», то импульс коррекции формируется с помощью схем И<sub>3</sub>, ИЛИ<sub>2</sub>, кipp-реле  $Kp_2$  и  $Kp_4$  и вводится в канал счета «+». Временные диаграммы работы СВИК приведены на рис. 10. Для рис. 10, *г—д* индексы в скобках соответствуют второму рассмотренному случаю. Для первого случая состояния выходных схем ИЛИ<sub>3</sub> и ИЛИ<sub>4</sub> эквивалентны состояниям, приведенным на рис. 10, *а* и *з*, и поэтому дополнительно не показываются.

Все рассмотренные выше функциональные схемы узлов реализуются с помощью элементов диодно-транзисторной логики, элементов памяти и задержки. Логические схемы И, ИЛИ и НЕ выбраны из комплекса стандартных схем. Некоторые элементы разработаны специально для электронных блоков ЛИП. На рис. 11 приведены принципиальные схемы этих элементов. На рис. 11, *а* приведена принципиальная схема счетного триггера с логикой. Счетный триггер имеет базу-коллекторную систему запуска, входную логическую схему ИЛИ, логические схемы И на обоих выходах для организации по каналам «+» и «—» сквозного переноса в пересчетных схемах, потенциальные выходы Т и  $\bar{T}$  для управления логическими схемами и сдвоенные входы установки «1» и «0». На рис. 11, *б* приведена схема диодной сборки, используемой в целях обратной связи пересчетных схем для предустановки кодов. Кipp-реле, принципиальная схема которого приведена на рис. 11, *в*, имеет два независимых входа запуска, которые используются для реализации логической функции ИЛИ. Логическая схема ИП (см. рис. 11, *г*) объединяет схему И на 5 входов с размножением и эмиттерный повторитель с двумя выходами: импульсным и потенциальным. И, наконец, диодная матрица — дешифратор десятичного кода в двоично-десятичный код 8—4—2—1. Все элементы выполнены в виде модулей. Отдельные функциональные узлы набираются из модулей в виде ячеек, которые объединяются на общей кроссировочной панели в общие блоки.

Конструктивно устройство счета и регистрации ЛИП выполнено в виде двух блоков: блока обработки и блока регистрации. В блок обработки входит учетверитель, блок умножения и устройство коррекции на изменение внешних условий. На переднюю панель блока обработки выведены четыре переключателя задатчика кода поправки и тумблер знака поправки. В блок регистрации входит реверсивный двоично-десятичный счетчик с устройством управления и индикаторным устройством, состоящим из 8 цифровых и одной знаковой лампы. В блоке регистрации размещен также и источник питания. Дискриминатор выполнен в виде выносного блока, размещенного в корпусе интерферометра.

Технические характеристики: 1) разрешающая способность  $0,1 \cdot 10^{-6}$  м; 2) погрешность вычисления  $0,3 \cdot 10^{-6}$ ; 3) максимальная скорость счета 320 кГц; 4) максимальная задержка реверса  $3 \cdot 10^{-6}$  с; 5) допустимый диапазон изменения параметров внешних условий: температуры  $T^{\circ}C$  —  $20^{\circ} \pm 12^{\circ}C$ ; давления  $p$  —  $760 \pm 30$  мм рт. ст.; влажности  $e$  —  $10 \pm 10$  мм рт. ст.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G. Pircher, M. Lacombat. Les applications des lasers a la metrologie.— *Meas. electr.*, 1970, 53, № 242. Использование лазера в метрологии.— *Экспресс-информация*, КИТ, 1970, № 21.

2. A. H. Cook. Division of Quantum Metrology Nat. Phys. Lab. [Rept], 1968—1969. London, 1969. Отдел квантовой метрологии NPL.— Экспресс-информация, КИТ, 1970, № 20.
3. F. Glantschnig, M. Leroux, F. Mottier, F. K. von Willisen. An Automatic fringe—Camter Laser Interferometer for Application to Industrial Metrology—First International Conference on Laser Applications, Paris, 1967,—Laser and Unconventional Optics Journal, 1967, № 8.
4. Taylor—Hobson Laser Interferometer. Проспект фирмы, 1970.
5. В. П. Коронкевич, Г. А. Ленкова. Лазерные интерферометры для измерения длины.— Автометрия, 1971, № 1.
6. H. D. Cook, L. A. Marzetta. An Automatic Fringe Counting Interferometer for use in Calibration of Line Scale.—Engineering and Instrumentation, 1961, v. 65C, № 2.
7. Э. И. Гитис. Преобразователи информации для ЭВМ. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
8. R. Magсу. Французский патент, 1968, 1514304, кл. 01 в.

*Поступила в редакцию  
16 октября 1970 г.*