

15
Б-53
7.3
579



И. М. Бескровный

579

ДЕСЯТИЧНЫЙ РЕВЕРСИВНЫЙ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ СЧЕТЧИК
Волфом радиотехники 1961.
сер. - Полупроводниковые приборы,
вып. 4, с 144-153.

Дубна 1960 год

И.М. Бескровный

ДЕСЯТИЧНЫЙ РЕВЕРСИВНЫЙ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ СЧЕТЧИК

474/8 229.

Направлено в журнал
"Вопросы радиоэлектроники"

Объединенный институт
ядерных исследований
БНБЛМОН ОНА

В статье описывается десятичный реверсивный счетчик на полупроводниковых триодах. Описано также полупроводниковое устройство, позволяющее использовать счетчик для отсчета механических перемещений с высокой точностью /до $\pm 1 \mu\text{к}$ /. Приводятся результаты эксперимента.

Счетчик импульсов — прибор, необходимый для решения очень многих как чисто радиотехнических задач, так и задач ядерной физики, автоматического управления и т.п.

Для многих задач требуется, чтобы счетчик был реверсивным, т.е. мог складывать импульсы или вычитать в зависимости от команды. Часто бывает удобно вести отсчет в десятичной системе с визуальной индикацией.

На фиг. 1 представлена блок-схема счетчика, удовлетворяющего перечисленным требованиям.

Направление счета определяется положением триггера знака $T_{зн}$. Если команда подана на вход триггера знака, обозначенного $/+ /$, то открыты ключи K_1, K_3, K_5, K_7 и K_{10} импульс на каждый последующий триггер проходит когда предыдущий переходит из положения 1 в 0, т.е. происходит сложение импульсов. Соответственно, при обратном положении триггера знака открыты ключи K_2, K_4, K_6, K_8, K_9 и происходит вычитание импульсов.

На фиг. 2 представлена временная диаграмма работы счетчика. При сложении до числа 7 счетчик считает как обычный двоичный, затем восьмой входной импульс переводит первые три триггера в положение 0, а четвертый в 1, т.е. устанавливает двоичный код восьмерки 0001.

При переключении четвертого триггера сигнал через открытый ключ K_{10} включенный противофазно с остальными четными ключами, поступает на единичные входы второго и третьего триггеров и переводит их в положение 1. При этом со второго триггера на третий и с третьего на четвертый сигналы естественно не поступают, так как ключи K_4 и K_6 закрыты, а K_3 и K_5 открыты только для сигналов, соответствующих переходу из 1 в 0. Таким образом после восьмого входного импульса устанавливается состояние 0111, которое и принято за условный код восьмерки. После девятого импульса следует состояние 1111 — условный код девятки, затем десятый импульс переводит счетчик в положение 0000, на выходе счетчика появляется сигнал и счет начинается сначала. Таким образом, благодаря принятым условным кодам восьмерки и девятки, задержка в срабатывании триггера не только не мешает осуществлению обратной связи, но наоборот используется как благоприятный фактор. Так как не требуется вводить задержку перед вторым и третьим триггерами, то быстродействие десятичного счетчика получается немного ниже, чем двоичного, составленного из этих же триггеров.

Кроме того, принятый метод позволяет при вычитании обходиться без дополнительных обратных связей /кроме тех, которые нужны при сложении/.

Рассмотрим работу счетчика при вычитании, начиная с числа 9. Первый входной импульс устанавливает состояние 0111 - условный код восьмерки. Далее, второй импульс переключает первый, второй и четвертый триггеры, устанавливая промежуточное состояние 1010, и сигнал с четвертого триггера через ключ K_9 вновь переключает второй триггер в положение 1. Таким образом, устанавливается обычный двоичный код семерки 1110. Дальше счетчик считает как обычный двоичный, после десятого импульса счетчик устанавливается в положение 0000 и на выходе счетчика появляется сигнал. После одиннадцатого импульса следует состояние 1111 и т.д.

Рассмотрим расчет по постоянному току триггеров, входящих в состав счетчика.

На фиг. 3 представлена схема триггера. При расчете будем исходить из предположения, что триод $ПТ_1$ открыт и представляет узел тока, а триод $ПТ_2$ закрыт и представляет бесконечно-большое сопротивление.

Обозначения токов ясны из схемы фиг.3. Прежде всего выбираем I_K E_K , U_3 , U_{zap} - напряжение запирания на базе $ПТ_2$.

В качестве E_K удобно выбрать напряжение, которое уже имеется в приборе, совместно с которым будет использоваться счетчик. В нашем случае $E_K = -12$ в.

Коллекторный ток I_K разумно выбрать порядка 3 - 5 ма - при этих токах β триодов имеет максимальное значение и, кроме того, влиянием тока I_{K0} можно пренебречь.

Как показали эксперименты для надежной работы триггера можно принять

$$U_3 = \frac{1}{3} E_K \quad \text{и} \quad U_{zap} = 16$$

Ток базы определяется из выражения

$$I_B = \frac{I_K}{\beta} \cdot \eta$$

/1/

где η - коэффициент насыщения, выбор которого мы обсудим ниже.

Тогда

$$R_3 = \frac{U_3}{i_k + i_8} \quad /2/$$

Обозначим

$$k = \frac{U_{3an}}{U_3} \quad /3/$$

Мы имеем

$$U_{3an} = \frac{U_3}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \quad /4/$$

Из /3/ и /4/ получаем

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{1-k}{k} \quad /5/$$

Согласно схеме фиг. 3 мы имеем еще три уравнения:

$$R_k = \frac{E_k - U_3}{i_k + i_{g2}} = \frac{E_k - U_3}{i_k + \frac{U_3}{R_1 + R_2}} \quad /6/$$

$$(R_k + R_1)(i_8 + i_{g1}) = E_k - U_3 \quad /7/$$

$$i_{g1} = \frac{U_3}{R_2} \quad /8/$$

Комбинируя /5/ и /6/ получим

$$R_k = \frac{E_k - U_3}{i_k + \frac{U_3 \cdot k}{R_2}} \quad /9/$$

Подставив /1/, /5/, /8/ и /9/ в уравнение /7/, получим уравнение относительно одной неизвестной

$$\left(\frac{E_k - U_3}{i_k + \frac{U_3 \cdot k}{R_2}} + R_2 \frac{1-k}{k} \right) \left(\frac{i_k}{\beta} \cdot \eta + \frac{U_3}{R_2} \right) = E_k - U_3 \quad /10/$$

Решение этого квадратного уравнения дает два значения для R_2 . Для экономичности схемы лучше взять большее из них.

Определив R_2 из /5/ находим R_1 , из /9/ R_k .

Величину коллекторного перепада ΔU_k можно определить из выражения

$$\Delta U_k = R_k (i_k + i_{g2} - i_{g1} - i_{\delta} - i_{k0})$$

/11/

Многочисленные измерения показали, что при правильном выборе измеряемые значения i_k , i_{δ} , U_{δ} , ΔU_k - хорошо совпадают с теми значениями, которые задаются при расчете.

Для определения оптимального значения η были проведены измерения большой партии триодов П13А-50 шт., П14-50 шт. П15 - 50 шт. Измерения показали, что минимальное значение β для всех триодов равно $0,5\beta_{ср.}$, а максимальное - $2\beta_{ср.}$. Значит, выбрав $\eta = 3$ при $\beta_{ср.}$, мы будем иметь

$$\eta = 1,5 \text{ при } \beta_{min} = 0,5\beta_{ср} \text{ и } \eta = 6 \text{ при } \beta_{max} = 2\beta_{ср.}$$

При этом значение i_{δ} не меняется. Стало быть независимо от параметров триодов все параметры триггера, рассчитанного по изложенному выше методу будут оставаться неизменными. От величины β данного триода будет зависеть только величина η . Если триггер должен работать в широком диапазоне температур, то в расчет необходимо внести соответствующие поправки.

Выбор величины емкости C_1 /фиг. 3/ зависит от частотного диапазона, в котором должен работать счетчик. При малом значении C_1 верхняя рабочая частота счетчика повышается, но зато счетчик плохо работает на низких частотах /ниже 50 гц/.

При большем значении C_1 счетчик более надежно работает от разовых импульсов, но верхняя частота уменьшается.

В описываемом счетчике было выбрано значение $C_1 = 1000 \text{ нф}$

При этом счетчик надежно работает от разовых импульсов и наивысшая рабочая частота равна 120 кгц.

На фиг. 4 приведена принципиальная схема описываемого счетчика, а на фиг. 5 схема десятичной индикации^{х/}.

Для упрощения дешифратора индикации и повышения надежности его работы состояние первого триггера используется для управления двумя шинами, к одной из которых подключены все нечетные лампочки, а ко второй - четные.

х/ Напряжения на управляющих /знаковых/ шинах декады С-2 и С-3 принимают значения: +0,5 в /для открытых ключей/ и +8в /для запертых ключей/.

Схемы фиг.4 и фиг.5 смонтированы вместе с лампочками на одном 30-ти контактном телефонном разъеме.

Внешний вид счетчика показан на фиг. 6. Данный счетчик может использоваться для отсчета линейных механических перемещений. Для этого требуется устройство преобразующее механические перемещения в электрические импульсы с указанием направления перемещения. Блок-схема такого устройства показана на фиг. 7, а на фиг. 8 показана временная диаграмма его работы.

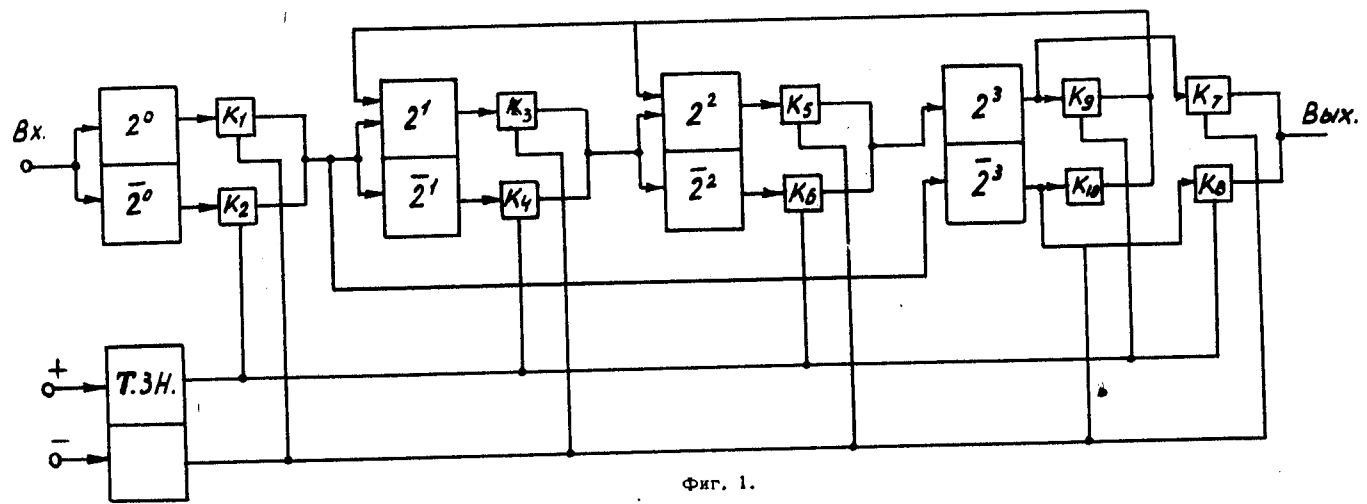
Диск с прорезями D установлен непосредственно на микрометрическом винте, служащем для перемещения системы. Два фотодиода $ФД1$ и $ФД2$ установлены так, что при вращении диска на их выходе /точки a и a' / появляются напряжения, сдвинутые на 90° .

Триггеры $ТШ_1$ и $ТШ_2$ формируют из этого напряжения прямоугольные импульсы. Оба выхода $ТШ_1$ через дифференцирующие цепочки подведены к ключам K_1 и K_2 , которые открываются только положительным импульсом с выхода $ТШ_2$. Ключи пропускают только положительные сигналы. В зависимости от направления перемещения, т.е. направления вращения диска напряжение $U_{тш_2}$ или отстает от $U_{тш_1}$ на 90° или опережает его на 90° . Когда $U_{тш_2}$ отстает, как показано на фиг. 8, то сигналы с $ТШ_1$ проходят только через K_2 , формируются усилителем $УС_2$ и поступают на вход $+/+$ триггера знака. При этом происходит суммирование импульсов.

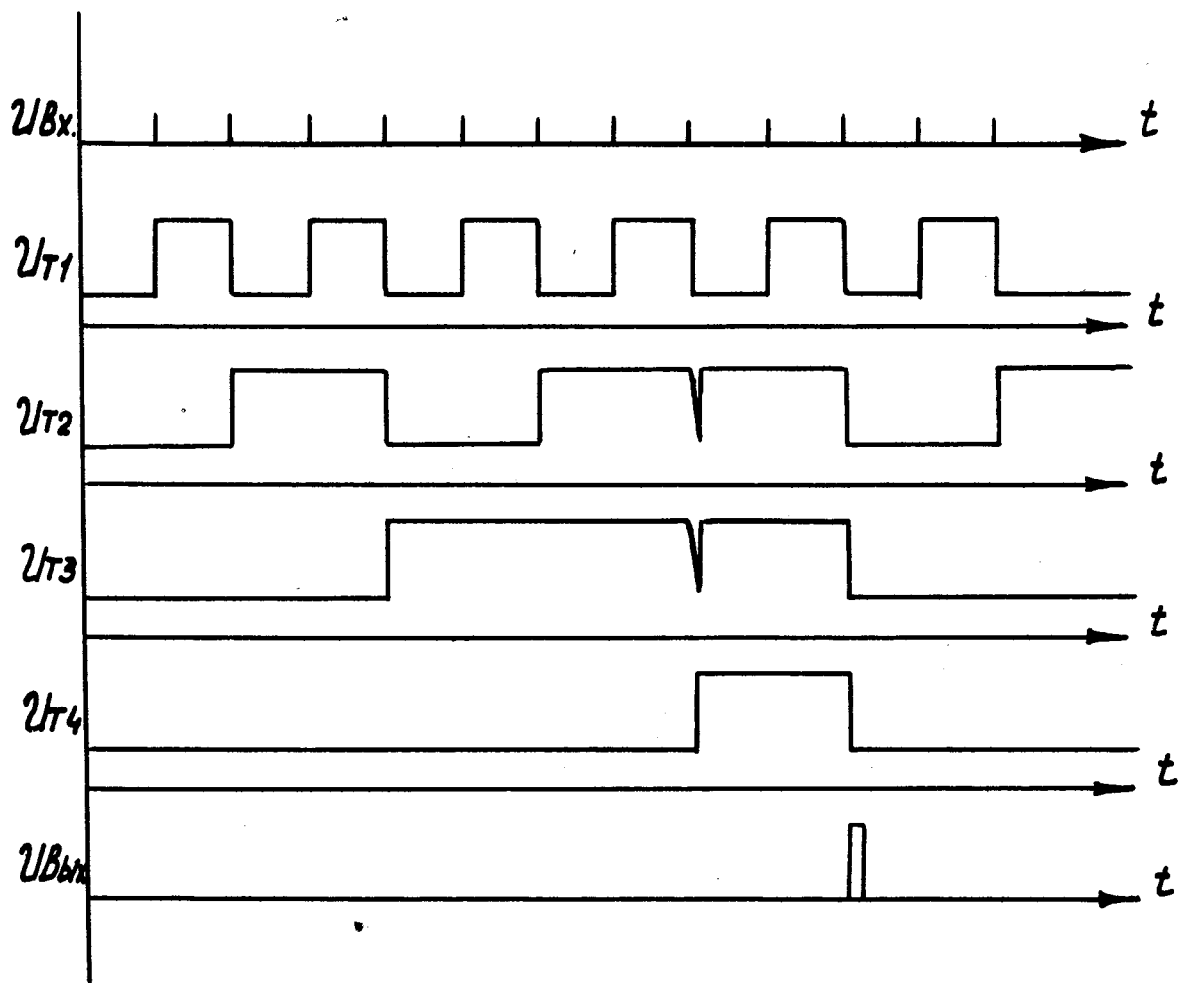
При обратном перемещении происходит вычитание импульсов.

Таким образом, при любом числе реверсов микрометрического винта счетчик будет показывать абсолютное значение координаты /или углового положения вала/ от какого-то выбранного нуля. Если шаг микрометрического винта 1 мм, то при 500 щелях в диске координата отсчитывается с точностью $\pm 1 \mu\text{к}$. На фиг. 9 приведена принципиальная схема устройства. Устройство испытывалось с механической системой, имеющей максимальную скорость перемещения 20 мм/сек, что соответствует частоте импульсов на входе счетчика 10 кгц. Частота переключения счетчика с вычитания на сложение не ниже 10 кгц. В наладке этого устройства принимал участие инженер Прокофьев Ю.П.

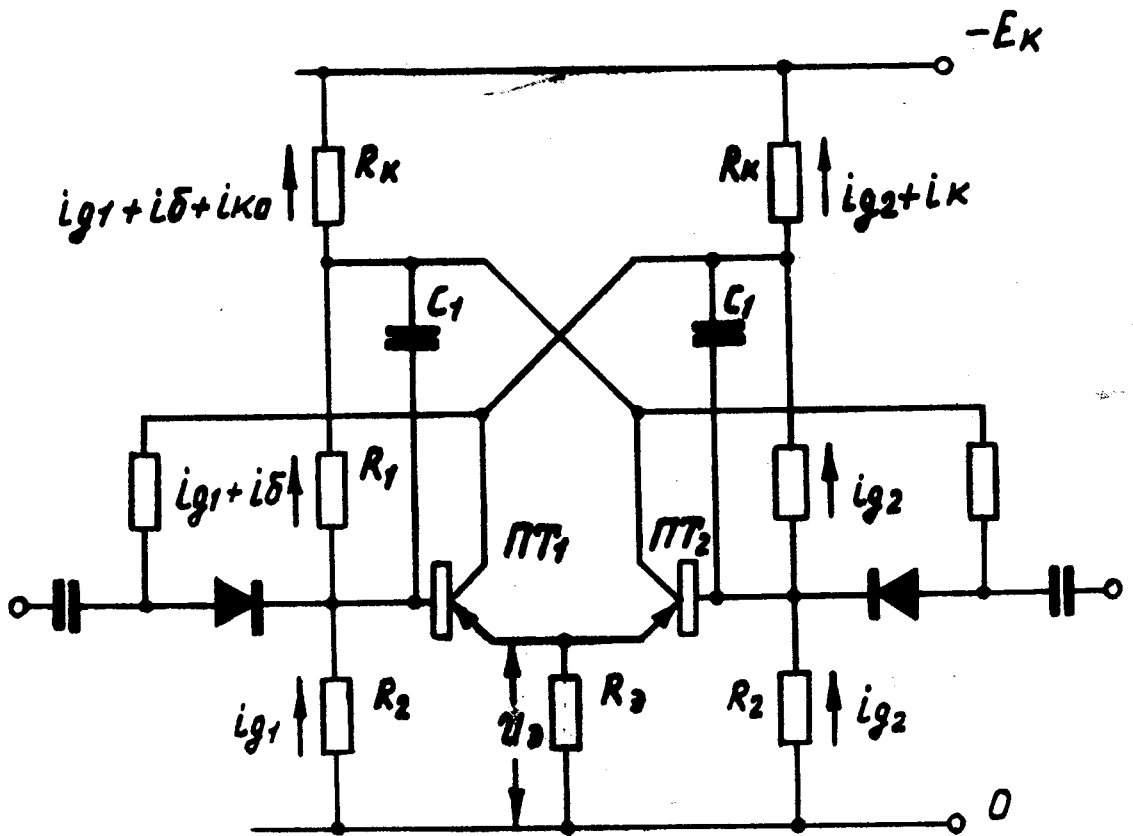
В наладке десятичного счетчика - старший механик Лебедев Г.И.



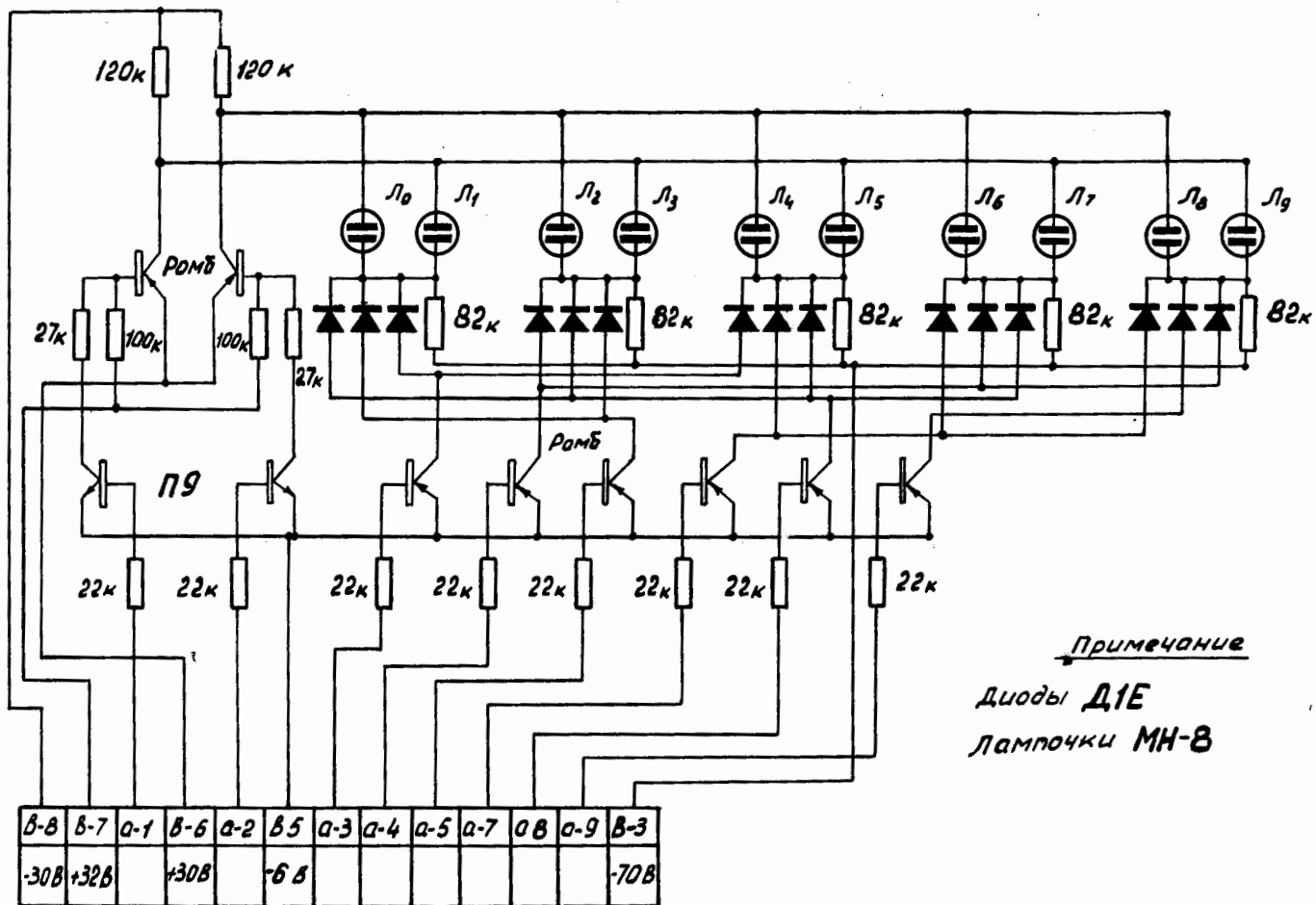
Фиг. 1.



Фиг. 2.

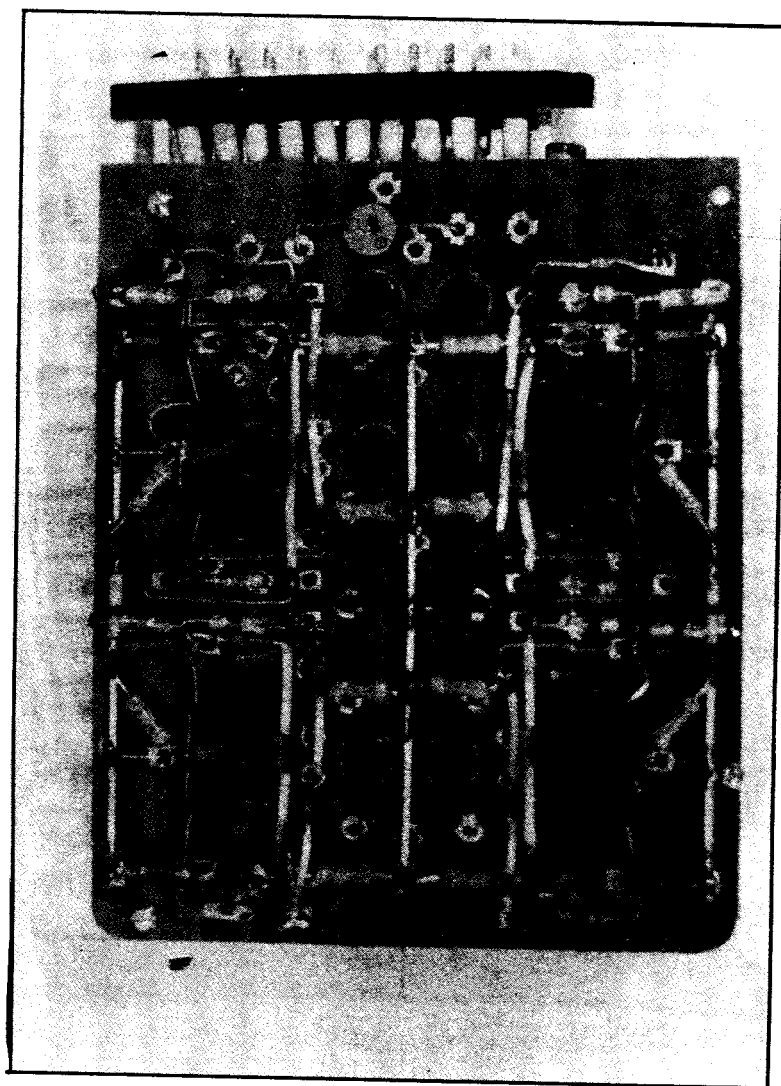


Фиг. 3.

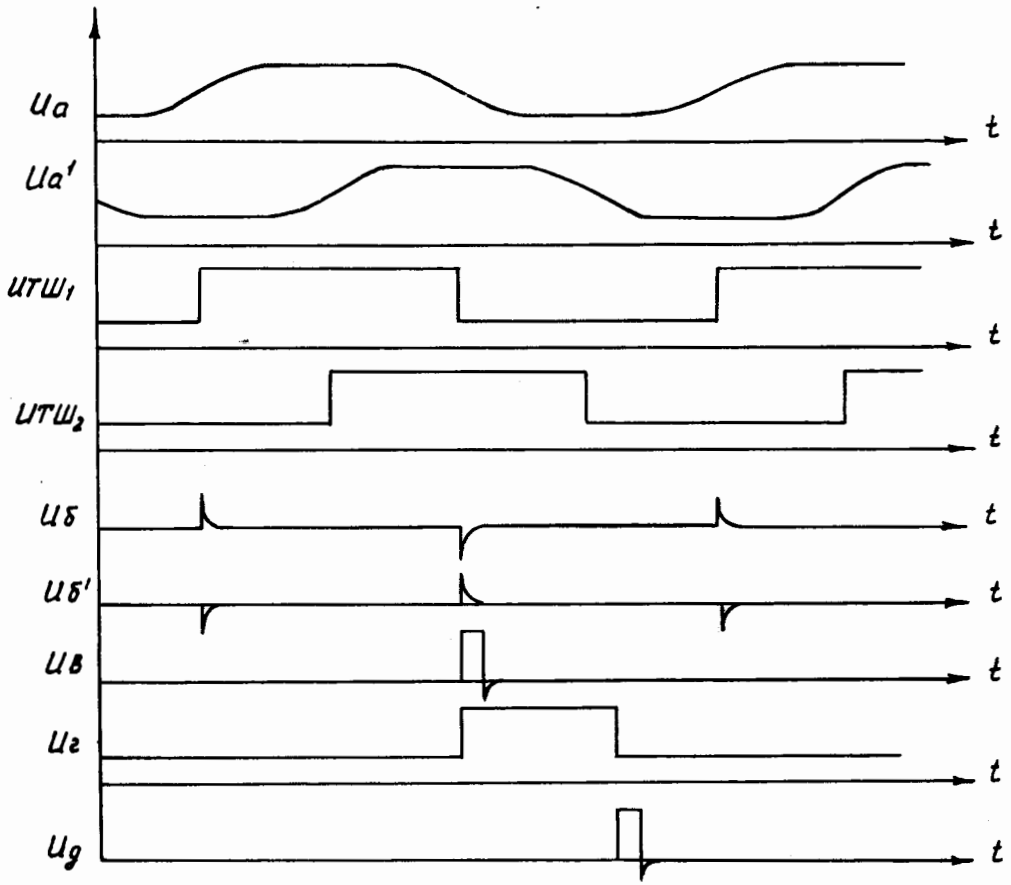


Примечание
 Диоды Д1Е
 Лампочки МН-8

Фиг. 5.



Фиг. 6.



Фиг. 8.

Вх ТШ ₂	Вх ТШ ₁	+12 В	-12 В		-24 В	Вых. (+)	Вых. (-)	Вых. смет.

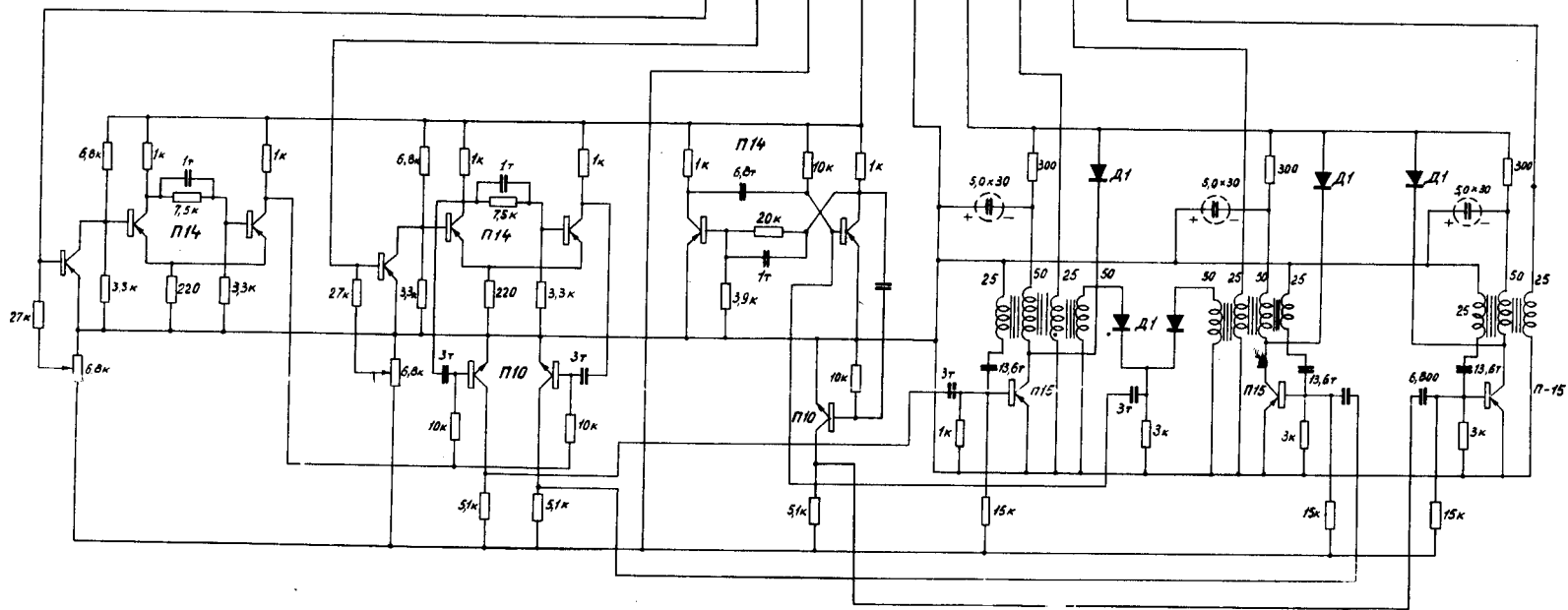


Fig. 10