

15
15 64
0



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

А.П.Бирюков, Г.И.Забиякин, В.Н.Замряй

605

ПЕРЕСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА
НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

Дубна 1960 год

А.П.Бирюков, Г.И.Забякин, В.Н.Замрий

605

904/8 48

ПЕРЕСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА
НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДАХ

Инженерный институт
научных исследований
БИБЛИОТЕКА

А н н о т а ц и я

Приводятся основные результаты работы по созданию быстродействующих, надежно работающих пересчетных устройств на серийных полупроводниковых триодах. Разрешающее время быстрых пересчетных ячеек, выполненных на триодах П403, составляет $5 \cdot 10^{-8}$ сек.

На основе разработанных ячеек выполнено два типа пересчетных декад по двоично-десятичной системе счета без обратных связей с использованием логических элементов "И" (диодно-трансформаторных схем совпадений). "Быстрая" декада (на триодах П403) имеет разрешающее время менее 10^{-7} сек, "медленная" декада (на триодах П16) - $(2 - 3) \cdot 10^{-6}$ сек.

Особенностью пересчетных устройств является возможность применения серийных полупроводниковых триодов без специального отбора и деталей с 10% допуском.

Кратко описан декадный пересчетный прибор с коэффициентом пересчета 10^5 и разрешающим временем - менее 10^{-7} сек.

Одним из основных элементов большинства установок экспериментальной ядерной физики является аппаратура, позволяющая регистрировать число импульсов. Регистрация сводится, в большинстве случаев, к счету числа электрических импульсов на выходе того или иного дискриминирующего устройства (амплитудного дискриминатора), которым завершается детектор излучения.

Наиболее распространенными регистрирующими устройствами являются пересчетные схемы, выполненные на элементах с двумя устойчивыми состояниями - триггерных ячейках, способных пересчитывать число импульсов на два. Последовательное соединение таких ячеек дает возможность считать число импульсов в двоичной системе счисления. Однако двоичная система чрезвычайно неудобна при визуальном снятии отсчетов. Ввиду этого приборы, предназначенные для визуального отсчета, строятся по двоично-десятичной системе. Это достигается применением специальных обратных связей в цепочке из нескольких триггерных ячеек, либо применением кольцевых систем с коэффициентом пересчета кратным 10.

Идея применения пересчетных схем не нова, однако создание надежно работающих счетных систем, с большим коэффициентом пересчета и временным разрешением 10^{-7} сек. и менее, остается не только технической задачей. Это заставляет вести широкие поиски как новых методов регистрации числа импульсов, так и усовершенствования схемных решений.

Пересчетные приборы промышленного производства, выполненные на ламповых ячейках, затрудняют применение их при методических разработках с большим числом счетных каналов как из-за своих габаритов, так и из-за сравнительно небольшого быстродействия и недостаточно надежной работы при длительной эксплуатации.

Применение полупроводниковых элементов в пересчетных устройствах с большим коэффициентом пересчета и, следовательно, состоящих из значительного числа однотипных ячеек, позволяет, прежде всего, существенно повысить срок службы и надежность физической аппаратуры. Благодаря отсутствию у полупроводниковых элементов подогретого катода исключаются основные источники нестабильной работы электронной аппаратуры - нестабильность тока эмиссии катода и значительный внутренний разогрев лампы, который часто приводит к изменению параметров элементов устройств. Помимо этого, применение полупровод-

ников позволяет значительно сократить мощность источников питания, габариты и вес аппаратуры и, следовательно, упростить аппаратуру и сократить время на подготовительные работы к эксперименту. Схемы на полупроводниковых элементах уже в настоящее время мало чем уступают аналогичным устройствам на электронных лампах. Характеристики современных промышленных триодов, как показывает опыт работы, уже сейчас позволяют выполнить надежные пересчетные ячейки, работающие на частотах до 10-20 Мгц. Такие ячейки на полупроводниковых триодах могут быть основой для создания пересчетных устройств, обладающих лучшими параметрами и эксплуатационными характеристиками, нежели широко распространенные приборы на электронных лампах.

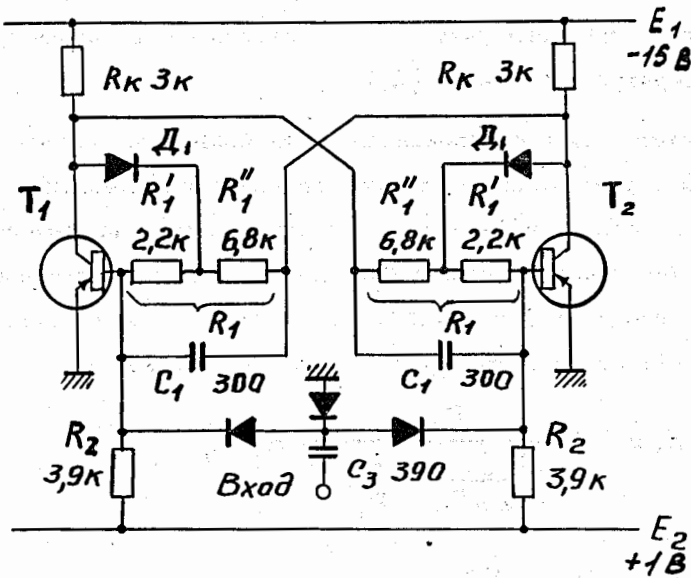
При проведении работы по созданию регистрирующих систем с большим числом счетных каналов, содержащих десятки пересчетных ячеек, обращалось особое внимание на повышенную надежность и воспроизводимость последних. Предъявлялись требования, во-первых, возможности длительной работы таких систем в лабораторных условиях в широком диапазоне температур (до $+40-50^{\circ}\text{C}$), при изменениях питающих напряжений $\pm 10\%$ от номинальных значений; во-вторых, возможности выполнения пересчетных устройств при использовании радиодеталей с допуском $\pm 10\%$ от номинальных значений и серийных полупроводниковых триодов без специального отбора; в-третьих, идентичности характеристик ячеек, обеспечивающих совместную работу.

Быстродействие счетных систем, как правило, определяется быстродействием входных устройств. Подавляющее большинство пересчетных ячеек в таких системах работает сравнительно медленно (с разрешающим временем 1-2 мсек и больше). В связи с этим, при построении счетных систем целесообразно применять два типа ячеек - медленную и быструю. Медленная ячейка является основой счетной системы и к ней предъявляются повышенные требования надежности, воспроизводимости, экономичности и т.д. Быстрые ячейки должны обеспечивать достаточное разрешение (менее 10^{-6} сек), при этом допустимо несколько большее внимание к их изготовлению и наладке.

1. Повышение надежности пересчетных ячеек

В результате анализа схем пересчетных ячеек за основу была выбрана схема ненасыщенного симметричного триггера (фиг.1). Особенностью триггера является

наличие нелинейной обратной связи (сопротивление R'_1 , диод D_1), устраняющей насыщение открытого триода [1, 2, 3].



Фиг. 1. Схема основной пересчетной ячейки.

В ненасыщенном триггере устраняется инерционность, связанная с эффектом накопления и рассасывания избыточных неосновных носителей в базе насыщенного триода. Устранение указанной инерционности обеспечивает большее быстродействие такого триггера. Вместе с тем, устраняется различие чувствительности ячеек к амплитуде запускающих импульсов в зависимости от степени насыщения триода. Это позволяет применять в ячейках триоды без двустороннего ограничения коэффициента усиления β , что особенно полезно для обеспечения работы триггера в широком диапазоне температур. Кроме того, ненасыщенные триггеры, в отличие от насыщенных, надежнее работают при очень низких частотах следования входных импульсов (работа от одиночных импульсов).

Для компенсации увеличения начального тока коллекторного перехода I_{K0} с ростом температуры в схеме триггера (фиг.1) используется внешний источник смещения.

Указанные особенности схемы триггера позволяют применять триоды, для которых коэффициент усиления превышает некоторую расчетную величину $\beta_{\text{мин}}$, а начальный ток коллектора меньше расчетного значения $(I_{\text{ко}})_{\text{макс}}$. Величины $\beta_{\text{мин}}$ и $(I_{\text{ко}})_{\text{макс}}$ определяются по методике [2,3,4]. Требования к β и $I_{\text{ко}}$ довольно не жестки, так что серийные триоды, удовлетворяющие техническим условиям, могут быть пригодны для использования.

При расчете схемы триггера учитывалась зависимость параметров триода (β и $I_{\text{ко}}$) от температуры, согласно [2,3,4].

Практический интерес для воспроизводимости большого количества однотипных ячеек представляет учет условий работы триггера при десятипроцентном разбросе применяемых деталей и десятипроцентном допуске на изменения напряжений питания. Для случая наиболее неблагоприятного сочетания указанных разбросов сопротивлений схемы (фиг.1) и допусков на напряжения питания значения делителя R_1 и R_2 можно определить с достаточной точностью из формул:

$$R_1 = 0,66 \frac{E_1}{\frac{s E_1}{\beta_{\text{мин}} R_{\text{к}}} + \frac{E_2}{R_2}} - R_{\text{к}}, \quad (1)$$

$$R_2 = 0,8 \frac{E_2}{(I_{\text{ко}})_{\text{макс}}}. \quad (2)$$

Здесь коэффициент s , обычно выбираемый несколько более 1, характеризует степень насыщения открытого триода [1, 2, 3] при обрыве нелинейной обратной связи (диода D_1). Напряжение E_1 и ток $E_1/R_{\text{к}}$ выбираются с учетом рекомендуемых значений для используемых триодов, а также требований к величине перепада напряжения; к быстрдействию и экономичности питания триггера (в том числе и напряжению E_2).

Ячейка (фиг. 1) запускается положительными импульсами, подаваемыми через диоды на базы триодов. При таком запуске чувствительность ячейки к амплитуде импульсов сравнительно велика, а требования к их параметрам не жестки. Требования к параметрам запускающих импульсов также ослабляются при применении в схеме сравнительно больших ускоряющих емкостей. Указанные замечания позволяют упростить схему запуска ячеек.

2. Основная пересчетная ячейка на триодах П15, П16

Параметры схемы основной ячейки приведены на фиг.1. Расчетные параметры триодов: минимальный коэффициент усиления по току β равен 10, максимальный ток $I_{ко}$ равен 200 микроампер.

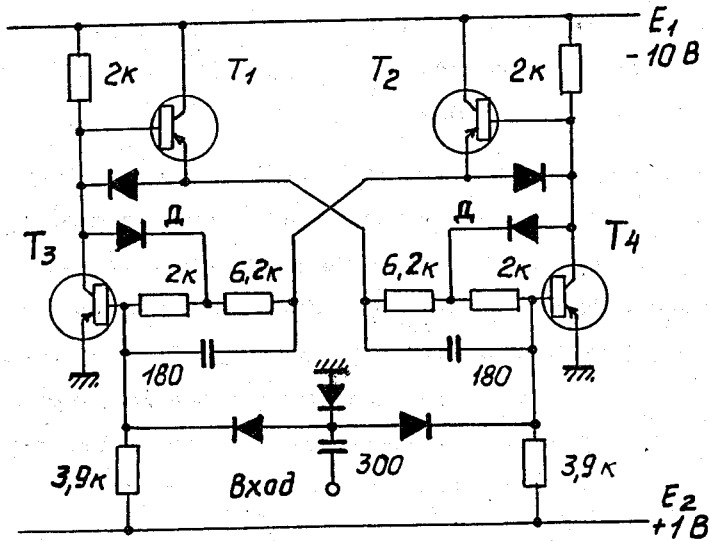
Разрешающее время таких ячеек около $2 \cdot 10^{-6}$ сек. Диапазон рабочих частот до 400-500 кгц. Быстродействие ячеек определено с учетом повышенной надежности работы. Ускоряющие емкости C взяты значительно больше минимально необходимых. В диапазоне рабочих частот допускается отклонение параметров схемы на $\pm 10\%$ и изменение питающих напряжений - более $\pm 20\%$ от номинальных значений. Работа ячеек проверена в широком диапазоне плюсовых температур (до 52°C). Воспроизводимость характеристик обеспечивается без специального отбора элементов схемы (в том числе и полупроводниковых триодов).

В ячейке могут быть использованы и триоды типа П13 и П14. Ускоряющие емкости C , в этом случае, берутся 2-3 раза больше, а быстродействие ячеек, соответственно, уменьшается (диапазон рабочих частот - до 150 - 200 кгц).

3. Повышение быстродействия основной ячейки

Быстродействие основной ячейки (фиг. 1) можно увеличить путем введения в схему дополнительных элементов. При этом могут быть использованы известные методы, применяемые в ламповой электронике.

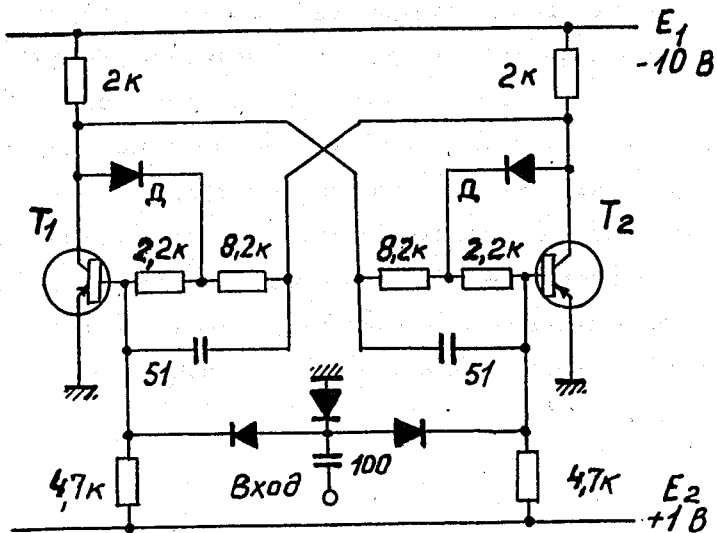
Сравнительно высокое быстродействие получено для ячейки на триодах П15, П16, схема которой приведена на фиг. 2. В цепях обратной связи применены эмиттерные повторители, действие которых аналогично действию катодных повторителей. Максимальная частота работы ячейки около 1,5 Мгц. Разрешающее время до (6-7) $\cdot 10^{-7}$ сек. Такое быстродействие является, по-видимому, близким к предельному для ячеек на триодах с частотными характеристиками, аналогичными характеристикам триодов типа П15. Некоторое дальнейшее увеличение быстродействия ячеек на таких триодах возможно лишь за счет существенного усложнения схемы. Последнее, однако, нежелательно для ячейки, предназначенной для многократного воспроизводства.



Фиг. 2. Схема ячейки с улучшенным быстродействием на триодах типа П15.

4. Пересчетные ячейки на высокочастотных триодах П401-П403

Применение новых высокочастотных триодов позволяет значительно увеличить быстродействие пересчетной ячейки без усложнения схемы. Одна из простых схем быстродействующего триггера на диффузионных триодах приведена на фиг. 3.

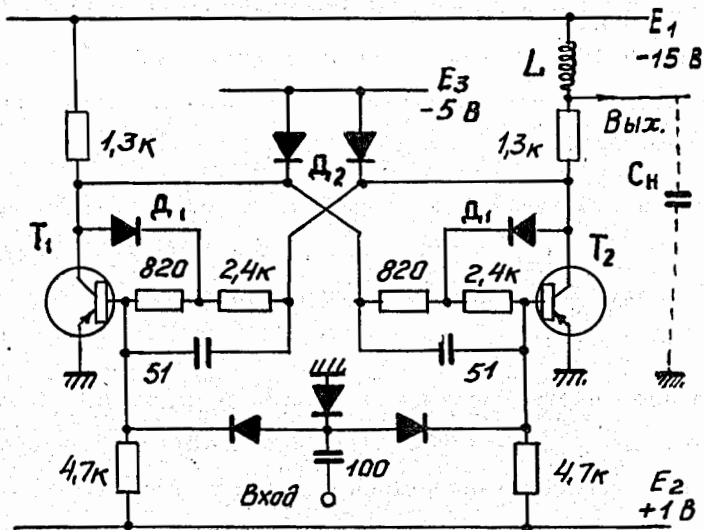


Фиг. 3. Схема быстродействующей ячейки на триодах типа П401.

В ячейке используются серийные триоды типа П401, П402, П403. Расчетные параметры триодов $\beta_{\text{мин.}} = 15$, $(I_{\text{ко}})_{\text{макс.}} = 160$ мка. При расчете схемы такого триггера учитывается влияние обратимого пробоя эмиттерного перехода [3], характерного для диффузионных триодов. Указанная особенность диффузионных триодов приводит в частности, к тому, что быстродействие триггера не ухудшается при больших величинах сопротивлений R_2 . Диапазон рабочих частот такой ячейки простирается до 4-5 МГц (при температурах до $+50^\circ\text{C}$). Разрешающее время - около $2 \cdot 10^{-7}$ сек (при длительности входного импульса 0,05 - 0,15 мксек). Остальные характеристики ячейки близки к характеристикам основной ячейки.

Дальнейшее увеличение быстродействия может быть достигнуто схемными методами. В литературе описаны схемы пересчетных ячеек с разрешающим временем порядка 10^{-7} сек [5,6,7,8]. В ячейках используются триоды с весьма высокими частотными характеристиками. В каждой ячейке используется четыре или более высокочастотных триода, а схемы, как правило, весьма сложны.

Применение серийных триодов типа П403 в схеме ненасыщенного триггера позволяет выполнить достаточно простую и надежную ячейку с высоким быстродействием. В схеме ячейки фиг.4 применены диоды, фиксирующие потенциал на коллекторе закрытого триода, благодаря чему отсекается наиболее медленная часть отрицательного фронта перепада напряжения.



Фиг. 4. Схема основной быстродействующей ячейки на триодах П403.

Индуктивность в цепи коллектора используется для формирования короткого выходного импульса. При этом большая емкость нагрузки C_n не ухудшает существенно быстродействия триггера.

Разрешающее время пересчетной ячейки на триодах П403А (фиг.4), как показали измерения, равно $5 \cdot 10^{-8}$ сек. Максимальная частота работы - около 18 МГц (при длительности запускающих импульсов около 0,03 мксек и форме, близкой к синусоидальной). При запуске короткими импульсами менее 0,03 мксек и уменьшении ускоряющих емкостей C до 30-40 пикофард диапазон частот работы ячейки может быть несколько расширен.

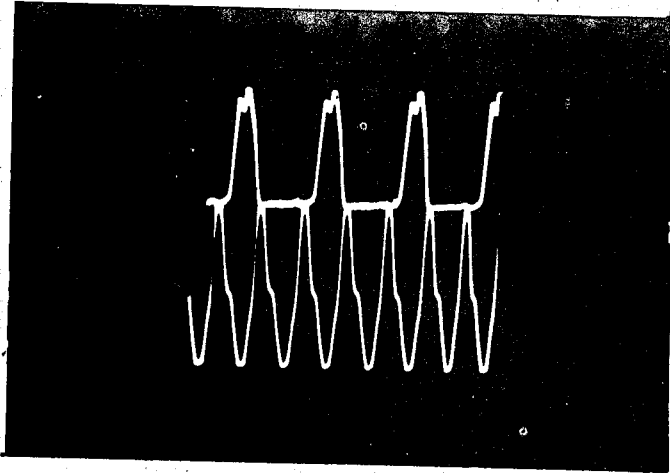
Диапазон частот надежной работы ячейки (фиг.4) оценивается величиной не менее 10 МГц. В диапазоне частот до 10 МГц триггер достаточно не критичен к разбросу параметров схемы. Допускается изменение питающих напряжений не менее $\pm 10\%$ от номинальных значений. Длительность запускающих импульсов может быть увеличена до 0,05 - 0,06 мксек. Амплитуда входных импульсов 3-10 вольт.

Форма напряжения на коллекторе триода рабочей (типовой) ячейки приведена на осциллограмме (а) фиг. 5. Для сравнения на этой осциллограмме показана форма синусоидального напряжения задающего генератора. Частота следования запускающих импульсов 10,5 МГц. На осциллограммах (б) и (в) фиг. 5 показана работа ячейки при двух и трех запускающих импульсах, следующих с интервалами, близкими к минимальному.

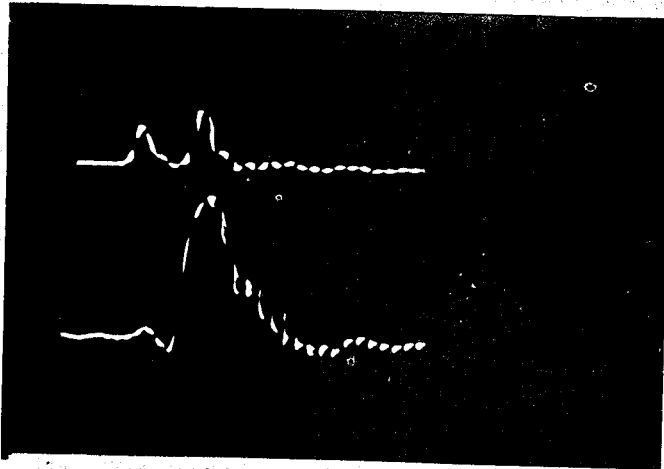
Осциллограммы получены с помощью осциллографа ДЭСО (входная емкость - около 10 пикофард). Длительность метки - 0,01 мксек. Амплитуда входных импульсов около 7 вольт, длительность - около 0,03 мксек. Выход триггера нагружен емкостью 100 пикофард.

Описанные выше ячейки длительное время проверялись в лабораторных условиях. Ячейки обладают достаточной воспроизводимостью характеристик при многократном повторении по приведенным схемам (фиг.1,2,3,4). Наиболее простая ячейка на триодах П15, П16 (фиг. 1) принята в качестве основной, а наиболее быстродействующая на триодах П403 (фиг. 4) - в качестве основной быстродействующей (входной) для применения в пересчетных устройствах.

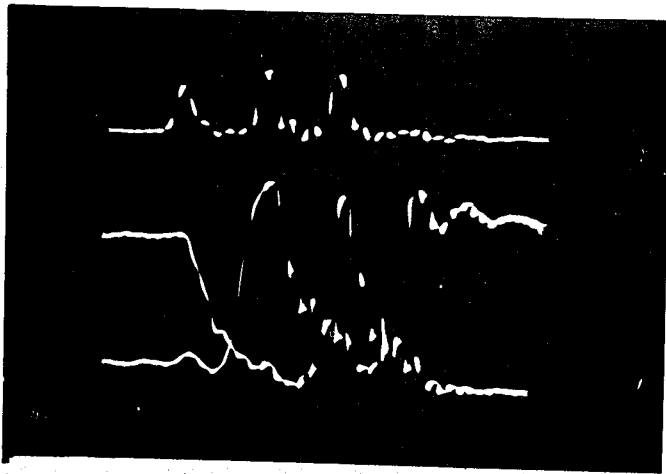
а)



б)



в)



Фиг. 5. Осциллограммы напряжения на коллекторе триода основной быстродействующей ячейки:

а) при частоте следования входных импульсов 10,5 МГц

б) при двух входных импульсах (метки 10^{-8} сек)

в) при трех входных импульсах (метки 10^{-8} сек).

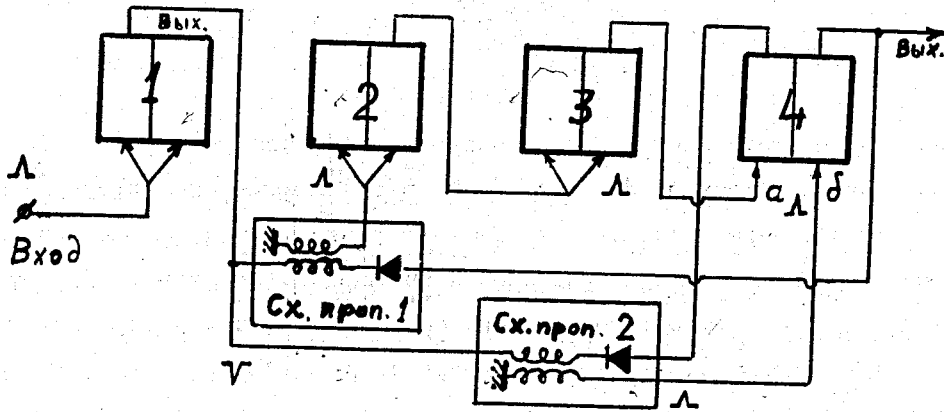
5. Пересчетные декады

Пересчетные устройства с визуальным считыванием показаний выполняются обычно по декадной системе; чаще всего, по схеме с двоично-десятичной системой счета. В таких пересчетных декадах используется четыре ячейки. Пересчет, равный десяти, достигается применением дополнительных связей между триггерами. Пересчетные ячейки выполняют не только основную функцию счета, но и функцию управления. По надежности работы и быстродействию пересчетные декады значительно уступают устройствам, выполненным из последовательно включенных счетных ячеек (по двоичной системе).

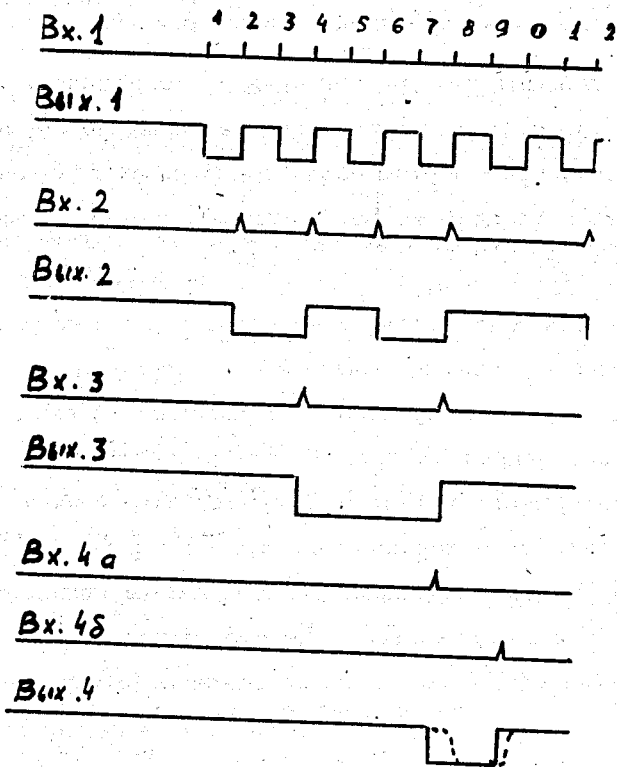
Другой метод построения схемы декад на 4-х ячейках состоит в том, что дополнительные связи заменяются логическими элементами, с помощью которых осуществляется управление работой триггеров. В таких декадах дополнительные срабатывания ячеек не происходят. Пересчетные ячейки выполняют только основную функцию счета входных импульсов. Работа их упрощается и возрастает надежность. Быстродействие логических элементов, обычно, больше, чем быстродействие ячеек, и скорость счета декад с логическими элементами приближается к скорости счета двоичных устройств.

Построение схемы декады с применением двух логических элементов типа "И" (схем пропускания) позволяет выполнить декаду без дополнительных импульсных связей. Такой метод построения схемы использован ранее [9] для декады, выполненной на радиолампах.

Работа декады поясняется на фиг. 6 и 7. Входные импульсы пересчитываются первой ячейкой на два и поступают на вход схем пропускания 1 и 2. В исходном состоянии на схему пропускания 1 подан разрешающий, а на схему пропускания 2 - запрещающий потенциалы с выхода четвертого триггера. Восьмой импульс вызывает срабатывание четвертого триггера, после чего на потенциальный вход схемы пропускания 1 подается запрещающий, а схемы пропускания 2 - разрешающий уровни. От девятого импульса срабатывает только первый триггер. Десятый импульс сбрасывает в исходное состояние первый и через схему пропускания 2 - четвертый триггер, в результате чего декада возвращается в исходное состояние.



Фиг. 6. Схема пересчетной декады.



Фиг. 7. Диаграммы работы декады.

Максимальная частота счета декады определяется при достаточном быстродействии первой ячейки длительностью процесса переключения схем пропускания. Наибольшая задержка переключения накапливается после прихода на вход схем пропускания четвертого (на вход первой ячейки - восьмого) импульса. При этом задержка срабатывания четвертого триггера состоит из суммы задержек передачи импульса через схему пропускания 1, сброса второго, третьего и срабатывания четвертого триггеров (задержка переброса последнего существенно уменьшена благодаря замене счетного запуска отдельным). Минимальный период следования импульсов, поступающих на вход схем совпадения, очевидно, должен превышать величину наибольшей задержки переключения схем пропускания. Максимальная частота счета декады определится половиной величины указанной задержки^{х)}.

Разрешающее время декады для двух импульсов определяется разрешающим временем первой ячейки. Для статистически распределенных во времени импульсов разрешающее время декады определяется быстродействием (разрешающим временем) первой ячейки и, в значительно меньшей степени - задержкой переключения схем пропускания.

В описываемых пересчетных декадах в качестве управляемых схем пропускания применены импульсно-потенциальные диодно-трансформаторные схемы совпадений (фиг.6). Для отрицательных импульсов, поступающих на вход схем совпадений, потенциал на коллекторе закрытого триода четвертого триггера является запрещающим, а потенциал открытого триода - разрешающим. Работа таких импульсно-потенциальных схем совпадения хорошо согласуется с работой триггера с внешним источником смещения. Диодно-трансформаторные схемы при своей крайней простоте отличаются высокой надежностью в работе. Быстродействие этих схем достаточно велико, и практически, в большинстве случаев не ухудшает быстродействия декады.

По описанному принципу с применением диодно-трансформаторных схем совпадений выполнены схемы основной (медленной) и входной (быстродействующей) пересчетных декад.

^{х)} Примечание. Длительность импульсов, поступающих на вход схем пропускания, не должна превышать величины минимальной задержки переключения схем пропускания (после десятого импульса на входе декады, фиг.7).

6. Основная декада

Основные декады счетных устройств выполнялись на основе пересчетных ячеек фиг. 1. Полная схема декады приведена на фиг. 8.

Связь между ячейками осуществляется через буферный усилительный каскад (эмиттерный повторитель). Применение последнего обеспечивает запуск импульсами с оптимальными параметрами без значительной нагрузки выхода предыдущего триггера. Во второй и последующих ячейках увеличены ускоряющие емкости C , что также улучшает работу при значительных разбросах параметров схемы и запускающих импульсов.

Диодно-трансформаторные схемы (A_1, Tr_1 и A_2, Tr_2) при коэффициенте отбора порядка 10 обладают достаточным быстродействием. Входной импульс отрицательной полярности подается на схемы совпадений через формирующий трансформатор Tr_3 .

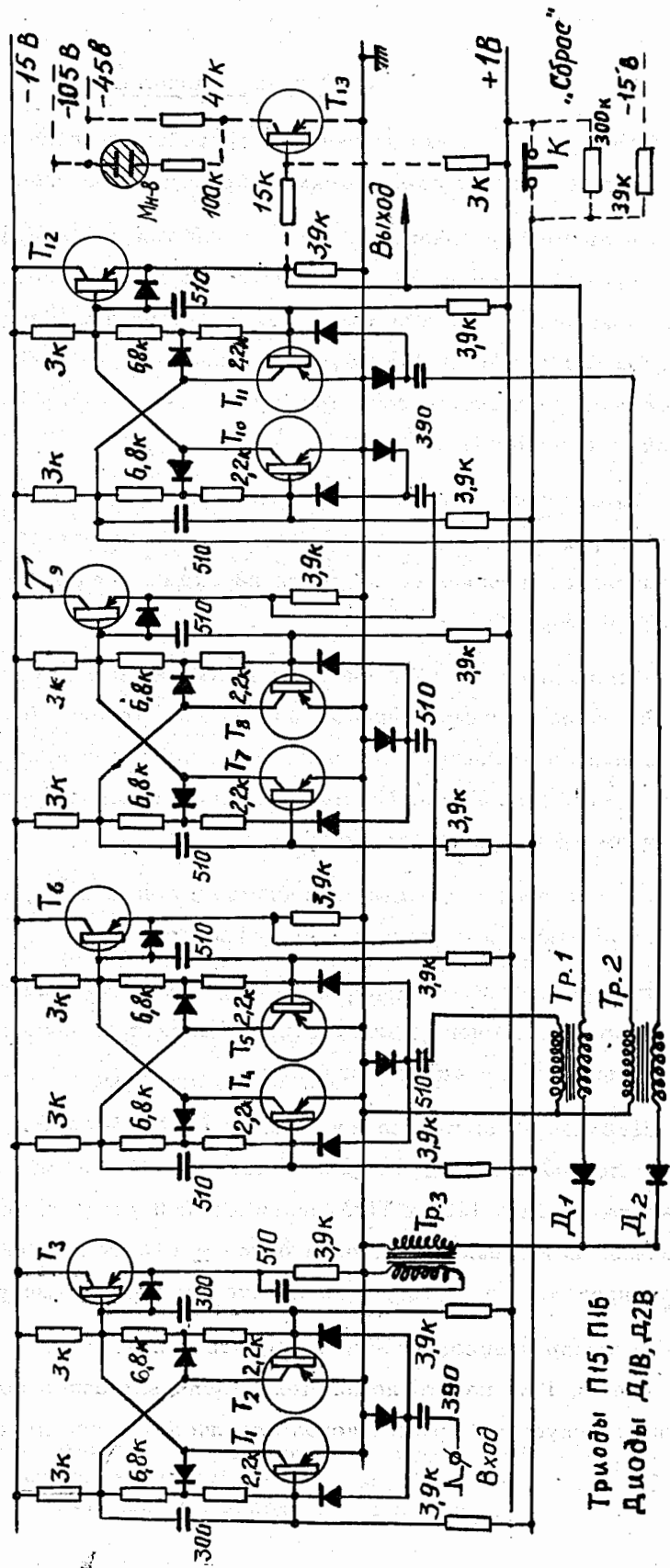
Индикация состояний ячеек производится с помощью неоновых лампочек МН-8. Необходимый перепад напряжения (около 40 вольт) снимается с выхода усилительного каскада, выполненного на триоде с повышенным рабочим напряжением (триод типа П2А). Схема включения индикаторного устройства показана пунктиром на фиг. 8 (триод T_{13}).

Накопленная в декаде двоично-десятичная информация может быть преобразована в десятичную с помощью дешифратора.

Низкоомный потенциальный выход эмиттерных повторителей хорошо согласуется с работой диодного дешифратора. Такое преобразование применяется в одном из выполненных декадных устройств.

Декады, выполненные на триодах П15 /П16/, надежно работают в диапазоне частот до 300-400 кГц. Разрешающее время - около $2,5 \cdot 10^{-6}$ сек. Быстродействие декад на триодах П14 и П13 меньше в 2-3 раза. В диапазоне частот допустимые изменения питающих напряжений более $\pm 10\%$ от номинальных значений. Работа декад проверена в широком диапазоне плюсовых температур до 52°C .

Воспроизводимость декад обеспечивается без специального отбора элементов схемы. При изготовлении декад использовались сопротивления с десятипроцентным допуском. Триоды использовались без специального подбора. Трансформа-

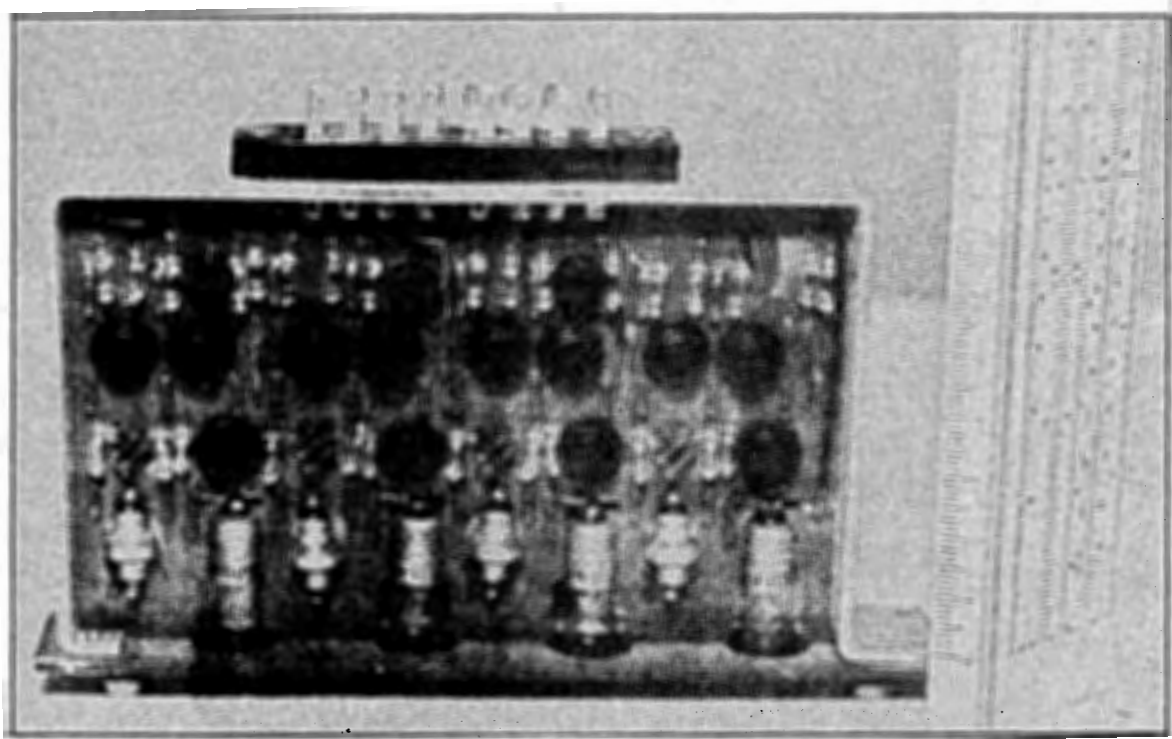


Фиг. 8. Схема медленной (основной) декады.

торы выполнялись на двух кожных "Оксифер - 1000" диаметром 7 мм. Числа витков трансформаторов Tr_1 и Tr_2 - 40 : 25, а Tr_3 - 40 : 40.

Специальная отладка таких декад, как правило, не требуется. Характеристики декад таковы, что возможна совместная работа большого числа последовательно включенных декад без дополнительных промежуточных устройств с питанием от общего источника.

Декады изготовлялись в виде блочков с разъемами. Вид блочка основной декады с индикаторным устройством показан на фиг.9. Габариты блочка 132x84x20мм, вес 0,16 кг. Потребляемая мощность питания не более 0,5 вт.



Фиг. 9. Блочок основной декады.

Декады применяются в различных регистрирующих устройствах и находятся в эксплуатации более года.

804/8 48

7. Быстродействующая декада

Описываемая ниже быстродействующая декада отличается высокой частотой счета входных импульсов и предназначается для работы в качестве входной в устройствах с большим коэффициентом пересчета.

Схема быстродействующей декады (фиг.10) построена по описанному выше принципу. В декаде применены быстродействующие пересчетные ячейки на триодах П403А (фиг. 4). При сбросе ячейки в исходное состояние на индуктивности L выделяется короткий выходной импульс отрицательной полярности. Связь между ячейками осуществляется через усилительный каскад с общим эмиттером. Параметры схемы усилителя таковы, что при достаточно высокой частоте следования входных импульсов не происходит изменения режима триода (динамического смещения). Цепочка в цепи эмиттера улучшает переходную характеристику усилителя. Выходной импульс с длительностью около 0,1 мксек и передним фронтом не более 0,04 мксек используется для запуска последующей ячейки.

В быстродействующей декаде применены видоизмененные диодно-трансформаторные схемы (Тр.₁ Д₁ и Тр.₂ Д₂). Диоды Д₁ и Д₂ закрыты разностью напряжения на коллекторе нормально закрытого триода Т₃ и коллекторе соответствующего триода четвертого триггера. Для такой диодно-трансформаторной схемы, в отличие от основной, потенциал открытого триода четвертого триггера (около 0,35 вольт) является запрещающим, а потенциал закрытого (около 6 вольт) - разрешающим для положительных импульсов, поступающих с коллектора триода Т₃. Питание усилителя Т₃ осуществляется от дополнительного источника напряжения, в качестве которого использован полупроводниковый стабилитрон Д-808. Работа видоизмененных диодно-трансформаторных схем согласуется с работой (четвертого) триггера с фиксирующими диодами Д₃ (фиг. 10). Коэффициент отбора такой схемы совпадений более 5.

В быстродействующей декаде индикация состояний ячеек выполняется с помощью индикаторного устройства, аналогичного примененному в основной декаде. Пример включения показан пунктиром (триод Т₁₅).

Проверка работы декады показала, что быстродействующая декада работает при частоте следования входных импульсов до 12-13 Мгц. Максимальная частота счета декады ограничивается наибольшей задержкой переключения диодно-трансформаторных схем (после прихода на их вход четвертого или на вход декады восьмого импульса). Наибольшая задержка переключения 0,16 мксек.

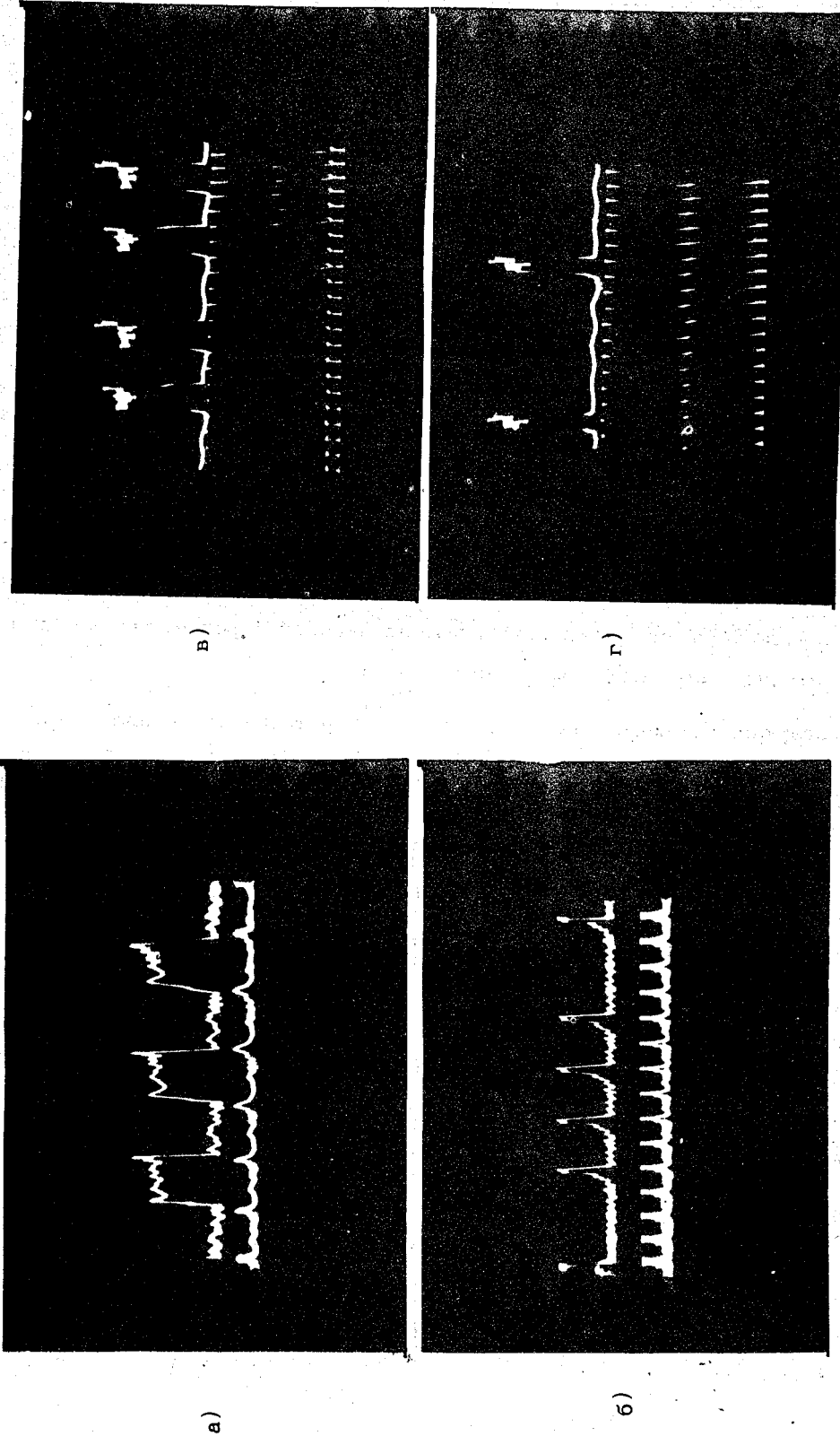
В схеме декады приняты меры для сокращения указанной задержки. Важнейшей мерой является уменьшение задержки выходного импульса ячейки относительно запускающего. Для триггера со счетным входом (фиг.4) задержка отрицательного выходного импульса (соответствующего отрицательному фронту перепада напряжения на коллекторе триода) меньше задержки положительного импульса примерно на величину длительности запускающего импульса и составляет 0,03-0,04 мксек (несколько больше для ячеек, в которых применяются триоды с β порядка 100 и выше). Задержка переброса четвертого триггера (с раздельным запуском) меньше 0,03 мксек.

Другие элементы вносят менее существенный вклад в большую задержку. В усилителях, используемых для запуска второй, третьей и срабатывания четвертой ячеек, триод приоткрыт, благодаря чему удалось уменьшить вносимую усилителем задержку до величины не более 0,01 мксек. Передача импульса через трансформатор Тр.₁ происходит с задержкой около 0,03 мксек.

Декады достаточно устойчиво работают при изменении параметров схемы на частотах, близких к максимальной. Это объясняется отчасти тем, что максимальная частота применяемых ячеек значительно больше рабочих частот декады. В диапазоне частот до 10 Мгц допустимое изменение питающих напряжений не менее 10% от номинальных значений.

Разрешающее время декад для двух импульсов около $5 \cdot 10^{-8}$ мксек (осциллограмма /б/ на фиг. 5). Разрешающее время для трех импульсов несколько больше - порядка $(7-8) \cdot 10^{-8}$ сек. Для статистически распределенных во времени импульсов разрешающее время декады находится в пределах $(5-8) \cdot 10^{-8}$ сек.

Осциллограммы, представленные на фиг. 11, иллюстрируют работу элементов декады. На осциллограммах /а/, /б/ фиг. 11 показаны работа первой ячейки и запускающие импульсы второй ячейки (напряжение на коллекторе триода Т₄) при частоте следования входных импульсов 7 Мгц. Работу первой, второй и четвертой



Фиг. 11. Осциллограммы, иллюстрирующие работу быстродействующей декады.

- а) напряжение на коллекторе триода первой ячейки и импульсы, поступающие на вход второй ячейки, при частоте следования входных импульсов 7 Мгц,
- б) напряжение на коллекторе триода второй и четвертой ячеек при частоте следования входных импульсов 10,5 Мгц.

ячеек на частоте 10,5 Мгц иллюстрируют осциллограммы /а/ на фиг. 5 и /в/, /г/ на фиг. 11. На последних осциллограммах для сравнения показано напряжение задающего генератора (близкое к синусоидальному), из которого формировались запускающие импульсы.

При изготовлении ячеек быстродействующих декад использовались радио-детали без специального отбора. Использовались сопротивления с допуском 10%. В декадах использовались серийные триоды П403 и П403А с коэффициентом усиления $\beta \gg 30$, а также диоды типа Д2В и Д13. Трансформаторы и индуктивности выполнены на ферритовых кольцах (тип Ф-100) диаметром 8 мм и сечением 4 мм². Все обмотки трансформаторов по 25 витков, индуктивности - 50 витков. Обращалось внимание на обеспечение оптимальных амплитуд импульсов, поступающих на запуск ячеек (около 5 вольт). Применяемые диоды обладают удовлетворительными характеристиками, однако целесообразно применять диоды с более качественными динамическими характеристиками.

Конструктивно быстродействующие декады так же, как и основные, выполнены в виде с блоков с разъемами. Габариты блока увеличены примерно в 1,5 раза. Ячейки расположены на монтажной плите по часовой стрелке, так что вторая и четвертая ячейки размещены вблизи первой.

Быстродействующие декады испытывались в лаборатории более полугода.

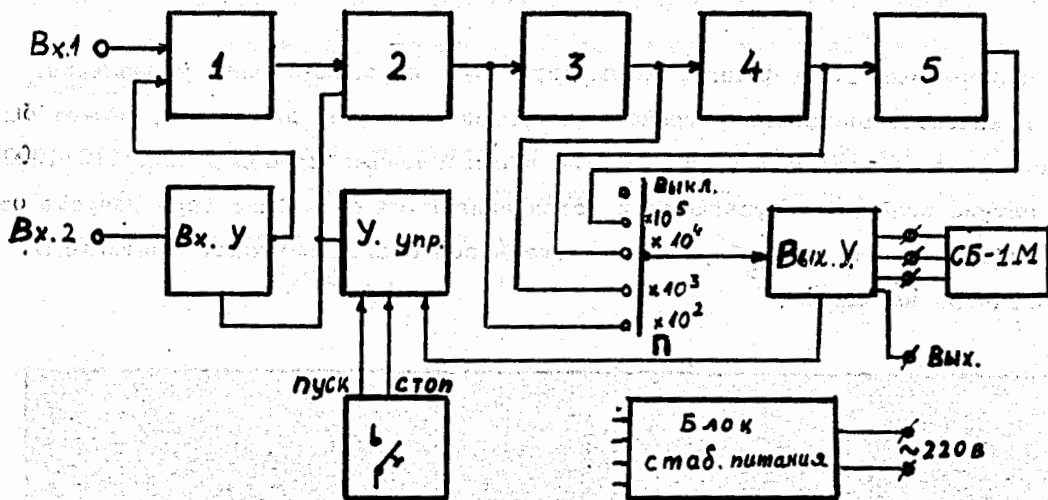
8. Пересчетные устройства

Описанные выше пересчетные ячейки и декады явились основой разработанных в лаборатории счетных устройств и отдельных автономных пересчетных приборов.

Один из пересчетных приборов был выполнен на основе "медленных" пересчетных декад и быстродействующих (входных) ячеек фиг. 2 и 3. Входные ячейки выполнялись без индикаторного устройства. Зарегистрированное число импульсов считывается с индикаторных устройств основных декад.

Пересчетный прибор с разрешающим временем менее 10^{-7} сек был выполнен по блок-схеме фиг. 12. Основным узлом прибора является пересчетное устройство,

состоящее из последовательно включенных пяти декад с индикацией состояний ячеек. Две первые декады — быстродействующие — на триодах П403, три последние выполнены по основной схеме на триодах П15, П14, П13. Пересчетные декады взаимозаменяемы и работают одна на другую без дополнительных промежуточных устройств.



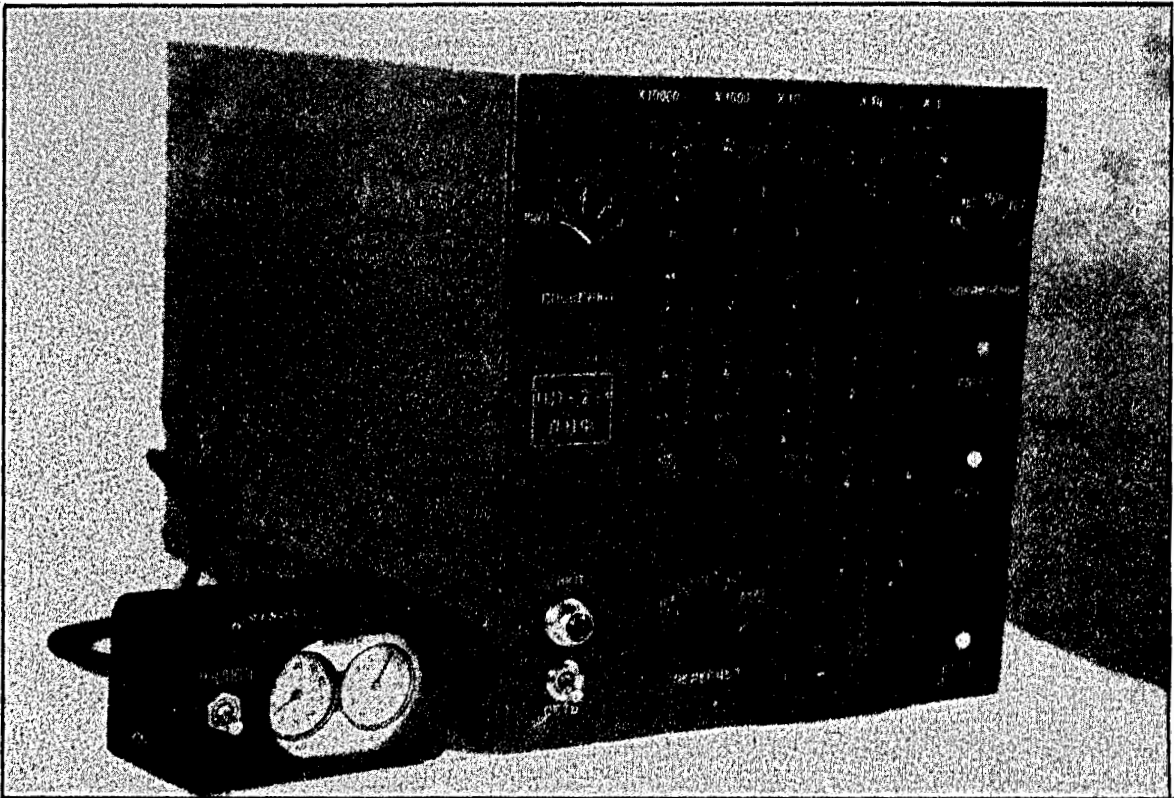
Фиг. 12. Блок-схема пересчетного прибора с разрешающим временем менее 10^{-7} сек.

От выхода каждой декады сделан отвод на переключатель коэффициента пересчета Π_1 . С помощью переключателя Π_1 можно выходное (формирующее) устройство прибора подключить к выходу одной из декад. Импульсы, кратные выбранному коэффициенту пересчета (10^2 , 10^3 , 10^4 или 10^5), поступают на фишку "Выход" прибора, а также через формирующее устройство — на механический сумматор (нумератор) типа СБ-1М. Входной импульс подается на первую декаду либо непосредственно, либо через входное формирующее устройство (выполненное в виде блока с разъемом).

Пуск и остановка счета входных импульсов производится с помощью устройства управления. Выходной потенциал управляющего триггера закрывает

входное устройство прибора и (или) вход второй декады (последнее используется в тех случаях, когда входные импульсы поданы непосредственно на первую декаду). Начало и остановка счета задается от кнопки либо от внешнего устройства. Остановка счета может быть осуществлена после того, как зарегистрируется заданное число импульсов, равное коэффициенту пересчета прибора. В этом случае импульс остановки подается в устройство управления из выходного устройства.

В приборе выведены фишки, коммутируемые переключателем управления, так что в качестве внешнего устройства, задающего время выдержки, может быть использовано соответствующее устройство промышленных приборов типа ПС-10000. В этом случае приборы запускаются и останавливаются синхронно (при запуске от кнопки "Пуск" одного из приборов или пуске часов с электрическим контактом). Прибор показан на фиг.13.



Фиг.13. Пересчетный прибор с разрешающим временем менее 10^{-7} сек и механический сумматор типа СБ-1М.

Описываемый пересчетный прибор использовался для проведения испытаний совместной работы "быстрых" и "медленных" декад, а также других узлов в течение длительного времени.

Испытания показали, что такой прибор, выполненный полностью на полупроводниковых триодах, надежен в эксплуатации. Некоторые затруднения возникали при формировке входным устройством коротких импульсов, следующих с частотой более 10 Мгц и имеющих разброс амплитуд порядка 10 и более. В таких случаях входные импульсы подавались на вход первой декады от внешнего формирующего устройства.

Проведена оценка разрешающего времени прибора при загрузках до $3 \cdot 10^5$ статистически распределенных импульсов в секунду. Оценка подтвердила величину разрешающего времени - менее 10^{-7} сек.

Авторы выражают благодарность Ю.К.Акимову и А.С.Гаврилову, любезно предоставившим необходимую аппаратуру для проверки разрешающей способности пересчетных устройств.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 сентября 1960 года.

Л и т е р а т у р а

1. Б.Н.Кононов. Применение нелинейной обратной связи для устранения насыщения плоскостных триодов в импульсных схемах. "Радиотехника и электроника", 1957, 2, 10, 1253-1260.
2. Б.Н.Кононов, Л.А.Серкин. Статистические триггеры на плоскостных триодах. "Применение полупроводниковых приборов в цифровых вычислительных машинах". Издательство ЦИТЭИ, Москва, 1959 г. (Тема 40, № П-59-59/9) стр.51-61.
3. В.А.Ганцев, В.А.Грибанова, В.Н.Замрий, Б.Н.Кононов. Элементы цифровой вычислительной машины на дрейфовых триодах. "Применение полупроводниковых приборов в цифровых вычислительных машинах". Издательство ЦИТЭИ, Москва, 1959г. (Тема 40, № П59-59/9) стр. 123-132.
4. Б.Н.Кононов, И.П.Степаненко. Пересчетные схемы на полупроподниковых триодах. "Атомная энергия", 1957, 2, № 4, 364-375.
5. R.A.Henle, J.L.Walsh. The application of the transistors to computers
Proceeding IRE, 46, 6 /1958/, 1240-1254.
6. C.G.Thornton, J.B.Angell, Technology of micro-alloy diffuse d transistors.
Proceeding IRE, 46, 6 (1958), 1166-1176.
7. E.Baldinger, P.Santschi, P.Wehrli. High speed transistorized scale-of-two.
Nuclear Instruments, 4, 2 /1959/, 117.
8. M.Gettner, W.Selove, 50-Mc discriminator-scaler. The Review of Scientific Instruments, 30, 10 /1959/, 942.
9. E.L.Kemp, Gated decade counter requires no feedback. Electronics, 26, 2/1953/, 145.
10. Г.И.Забиякин, В.Н.Замрий. Декадное пересчетное устройство на полупроводниковых триодах. "Приборы и техника эксперимента" (в печати).