



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Б.А. Зеленов, И.Ф. Колпаков, Н.С. Мороз

P-1310

ДЕКАДНЫЙ ПЕРЕСЧЕТНЫЙ ПРИБОР
НА ТРАНЗИСТОРАХ НА 12 МГц

Дубна 1963

Б.А. Зеленов, И.Ф. Колпаков, Н.С. Мороз

P-1310

ДЕКАДНЫЙ ПЕРЕСЧЕТНЫЙ ПРИБОР
НА ТРАНЗИСТОРАХ НА 12 МГц

Дубна 1963

Целью работы было выполнение схемно-простой, экономичной, малогабаритной, легко воспроизводимой декады, обладающей разрешающей способностью, требуемой для большинства экспериментов, выполняемых на ускорителях ОИЯИ. Данную работу авторы рассматривают как один из путей создания надежного пересчетного устройства на транзисторах для целей физического эксперимента.

Логическая схема декады, ограничения, накладываемые на схему
с целью устранения просчетов, и рекомендации по увеличению
быстродействия

Логическая схема декады приведена на рис.1. В основу декады положен двоячный триггерный счетчик с пересчетом на 16, в котором коэффициент пересчета 10 достигается соответствующей коммутацией входов триггерных ячеек. При индикации счёта веса отдельных триггерных ячеек декады находятся в соотношениях 1-2-4-8. Запуск триггеров производится через диодные ключи, которые уменьшают зависимость работы ячеек от параметров запускающего сигнала. Особенностью декады является то, что для коммутации входов триггеров с целью получения требуемого коэффициента пересчёта используются эти же диодные ключи. Описание последовательности работы декады и соображения, связанные с выбором схем триггеров, были изложены в работе /1/.

Чтобы избежать просчетов при регистрации импульсов, разрешающие времена триггерных ячеек и задержки в схеме должны быть связаны определенными соотношениями, которые были рассмотрены в работе /2/ для данной логической схемы декады:

$$t_4 < 2t_1 - 2t_0 \quad (1)$$

$$2t_1 > 2t_0 + t_{\text{закр.}} \quad (2)$$

$$2t_1 > t_{\text{откр.}} > t_{\text{пер.}} \quad (3)$$

при условии, что $t_2 < 2t_1$, $t_3 < 2t_2$ и $t_4 < 2t_3$, где t_1, t_2, t_3, t_4 - разрешающие времена соответствующих триггерных ячеек;

t_0 - время переноса импульса через триггер;

$t_{\text{закр.}}$ - время, необходимое для закрывания ворот;

$t_{\text{откр.}}$ - время, требуемое для открывания этих ворот;

$t_{\text{пер.}}$ - длительность импульса переноса.

Невыполнение условия(1) при регистрации периодических импульсов ведет к тому, что декада будет считать с коэффициентом пересчёта 12, а при счёте статистически распределенных во времени импульсов при больших нагрузках вероятность просчёта 2 схемой будет велика по сравнению с просчётами, связанными с конечным разрешающим временем первой ячейки.

Невыполнение неравенства(2) приводит к коэффициенту пересчёта 8 при регистрации периодических импульсов и некоторой вероятности присчёта 2 при регистрации статисти-

чески распределенных во времени импульсов. Нарушение левой части неравенства (3) даст коэффициент пересчета 12, а при статистических импульсных нагрузках появится вероятность просчета 2. При нарушении правой части неравенства (3) периодические сигналы будут пересчитываться на 8, а при счете статистических событий будет присчитываться 2 с некоторой вероятностью.

В описываемой декаде $r_1 = r_2 = r_3 = r_4$. При этом неравенство (1) для исследованной схемы выполняется при условии $r_1 > t_0$. Чтобы выполнялись неравенства (2) и (3), для правильного счета декадой периодических импульсов необходимо уменьшать r откр. и r закр. — время открывания и закрывания ворот. Таким образом, времена r откр. и r закр. устанавливают нижний предел разрешающего времени для первой ячейки. Как показали измерения, в рассматриваемой декаде скорость поступления периодических импульсов на вход декады не должна превышать 12 МГц, в противном случае будут просчеты из-за невыполнения неравенства (2), т.е. разрешающее время первой триггерной ячейки должно быть не менее 80 нсек. При этом неравенство (3) также выполняется. Однако при использовании декады для регистрации событий, статистически распределенных во времени, для первой триггерной ячейки допустимо гораздо меньшее разрешающее время, чем это следует из выражений (1), (2), (3), справедливых при счете периодических импульсов. Для случая регистрации декадой событий, статистически распределенных во времени, неравенства (1), (2) и (3) можно записать в следующей форме:

$$r_4 < T - 2t_0 \quad (1')$$

$$T > 2t_0 + r_{\text{закр.}} \quad (2')$$

$$T > r_{\text{откр.}} > t_{\text{пер.}} \quad (3')$$

где сохраняются все прежние обозначения, а T — разрешающее время декад по тройным импульсам при условии, что $r < T$. Известно, что вероятность регистрации импульсов входной ячейкой с разрешающим временем r дается формулой /3/

$$p_0 = e^{-nr} \quad (4)$$

где n — интенсивность импульсов, поступающих на вход. Вероятность просчетов, связанных с конечным разрешающим временем, согласно условиям (1'), (2'), (3'), равна:

$$p = p_1 \cdot p_2 \quad (5)$$

где p_1 — вероятность того, что в интервал T попадет три импульса, равная

$$p_1 = 1 - e^{-nT} (1 + nT); \quad (6)$$

p_2 — вероятность, связанная с тем, что просчеты, обусловленные конечным разрешающим временем по тройным импульсам случаются, когда декада находится только в 2-х из 10 возможных состояний. Эта вероятность равна 0,2. Пользуясь формулами (4), (5), (6), можно оценить долю, вносимую декадными просчетами в дополнение к просчетам двоичной ячейки на входе, если известны n , r , T . Например, для описываемой декады $r = 40$ нсек, $T = 150$ нсек. Тогда, при условии 10% — ных просчетов на входе, т.е. при интенсивности поступления входных импульсов $2 \cdot 10^6$ имп/сек, доля декадных просчетов составляет всего 0,28%, что вполне допустимо, так как выше было показано, что такие просчеты приводят лишь к добавлению или вычитанию 2.

чески распределенных во времени импульсов. Нарушение левой части неравенства (3) даст коэффициент пересчёта 12, а при статистических импульсных нагрузках появится вероятность просчёта 2. При нарушении правой части неравенства (3) периодические сигналы будут пересчитываться на 8, а при счёте статистических событий будет пресчитываться 2 с некоторой вероятностью.

В описываемой декаде $r_1 = r_2 = r_3 = r_4$. При этом неравенство (1) для исследованной схемы выполняется при условии $r_1 \gg t_0$. Чтобы выполнялись неравенства (2) и (3), для правильного счёта декадой периодических импульсов необходимо уменьшать r откр. и r закр. — время открывания и закрывания ворот. Таким образом, времена r откр. и r закр. устанавливают нижний предел разрешающего времени для первой ячейки. Как показали измерения, в рассматриваемой декаде скорость поступления периодических импульсов на вход декады не должна превышать 12 МГц, в противном случае будут просчёты из-за невыполнения неравенства (2), т.е. разрешающее время первой триггерной ячейки должно быть не менее 80 нсек. При этом неравенство (3) также выполняется. Однако при использовании декады для регистрации событий, статистически распределенных во времени, для первой триггерной ячейки допустимо гораздо меньшее разрешающее время, чем это следует из выражений (1), (2), (3), справедливых при счёте периодических импульсов. Для случая регистрации декадой событий, статистически распределенных во времени, неравенства (1), (2) и (3) можно записать в следующей форме:

$$r_4 < T - 2t_0, \quad (1')$$

$$T > 2t_0 + r_{\text{закр.}}, \quad (2')$$

$$T > r_{\text{откр.}} > t_{\text{пер.}}, \quad (3')$$

где сохраняются все прежние обозначения, а T — разрешающее время декад по тройным импульсам при условии, что $r < T$. Известно, что вероятность регистрации импульсов входной ячейкой с разрешающим временем r дается формулой [3]

$$p_0 = e^{-nr}, \quad (4)$$

где n — интенсивность импульсов, поступающих на вход. Вероятность просчётов, связанных с конечным разрешающим временем, согласно условиям (1'), (2'), (3'), равна:

$$p = p_1 \cdot p_2, \quad (5)$$

где p_1 — вероятность того, что в интервал T попадет три импульса, равная

$$p_1 = 1 - e^{-nT} (1 + nT); \quad (6)$$

p_2 — вероятность, связанная с тем, что просчёты, обусловленные конечным разрешающим временем по тройным импульсам случаются, когда декада находится только в 2-х из 10 возможных состояний. Эта вероятность равна 0,2. Пользуясь формулами (4), (5), (6), можно оценить долю, вносимую декадными просчётами в дополнение к просчётам двойной ячейки на входе, если известны n , r , T . Например, для описываемой декады $r = 40$ нсек, $T = 150$ нсек. Тогда, при условии 10% — ных просчётов на входе, т.е. при интенсивности поступления входных импульсов $2 \cdot 10^6$ имп/сек, доля декадных просчётов составляет всего 0,28%, что вполне допустимо, так как выше было показано, что такие просчёты приводят лишь к добавлению или вычитанию 2.

Описание схем

Схемы быстрой и медленной декад приводятся на рис. 2 и 3. Быстродействие достигается за счёт использования более высокочастотных триодов и диодов. Принципиально схемы быстрой и медленной декады отличаются только устройством индикации. В декадах применялись обычные ненасыщенные триггеры с внешним смещением, с устранением насыщения посредством нелинейной обратной связи. Расчёт триггеров производился по данным работы [4] с учётом 10% разброса деталей и питающих напряжений, заводских паспортных данных транзисторов и диодов, в диапазоне температур окружающей среды от 10°C до $+70^{\circ}\text{C}$.

В связи с тем, что выбранная схема запуска триггеров оказалась достаточно надёжной в медленной декаде, отпала необходимость в специальных межкаскадных формирующих устройствах. Используемые здесь межкаскадные эмиттерные повторители служат исключительно целям индикации, и их отсутствие не сказывается на быстродействии, что проверялось экспериментально. В быстрой декаде введение эмиттерных повторителей необходимо для обеспечения требуемой скорости счёта, а для индикации применяются отдельные триоды, поскольку ограничения, накладываемые мощностью рассеяния триодов П403, не позволяют ставить индикационные лампочки в эмиттерные повторители.

Схема индикации

Новым в схеме индикации является использование коммутаторных телефонных лампочек накаливания К-24-П. Лампочки питаются через эмиттерные повторители, подключенные к выходам триггеров. Лампочки накаливания более надёжны, чем неоновые, не требуют отдельного высоковольтного питания в отличие от последних и не критичны к питающим напряжениям. Обычно коммутаторные лампочки используются в рабочем режиме 24 в — 35 ма. Вольт-амперная характеристика лампочки приводится на рис. 4. Из-за ограничений, накладываемых допустимой мощностью рассеяния триода, рабочая точка лампочки при индикации состояния "1" была выбрана при напряжении 9 в и токе 18 ма. При этом сопротивление её было равно 500 ом. При индикации состояния "0" лампочка находится в режиме 1в, 5 ма, что соответствует сопротивлению 200 ом. Таким образом, сопротивление нагрузки триггера, равное $\beta \cdot R_{\text{н}}$, в наихудшем случае, когда в эмиттерном повторителе используется триод с $\beta_{\text{мин.}} = 20$, составляет не менее 4 ком и оказывается значительно больше допустимого (2 ком). Несмотря на то, что лампочка применяется в режиме пониженных токов и напряжений, яркость свечения её оказывается достаточной для надёжной индикации.

Испытания декад

а) Для проверки соответствия расчётов с учётом 10% разброса деталей и питающих напряжений проводились испытания медленной декады, в которой все детали, в том числе и триоды, были подобраны с отклонениями в наихудшую для работы триггеров сторону.

Верхний предел частоты при работе с периодическими импульсами для такой декады

был равен 200 кгц., в то время как для обычной декады он составляет около 500 кгц. При частоте запускающих импульсов 100 кгц допустимые отклонения напряжения коллекторного питания не превышали $\pm 20\%$, а для обычной декады эти отклонения разрешены в пределах не более $\pm 40\%$. Таким образом, экспериментальная проверка показала возможность использования в декаде деталей с допусками, принятыми при расчёте.

На рис. 5 приводятся области работы быстрой декады, когда на вход поступают периодические импульсы с частотами 1 мгц (сплошная линия) и 10 мгц (пунктирная линия).

б) Проверка разрешающего времени быстрых декад производилась с помощью генератора тройных импульсов и осциллографа ДЭСО-1. Проверялось разрешающее время отдельных триггерных ячеек и декад в целом при использовании различных типов транзисторов и диодов. Результаты проверки разрешающей способности отдельной ячейки сведены в таблицу 1. Амплитуда импульсов генератора равна 6в.

Т а б л и ц а 1

Типы триодов	Типы диодов	Разрешающее время /н.сек/	Примечание
П403	Д14	180	Двойные импульсы
-"-	-"-	250	Тройные импульсы
-"-	Д2А	100	Двойные импульсы
-"-	-"-	150	Тройные импульсы
-"-	Д2В	50	Двойные импульсы
-"-	-"-	100	Тройные импульсы
-"-	Д18	40	Тройные импульсы
П411	-"-	30	-"- -"-

Как видно из таблицы, используемая схема триггерной ячейки позволяет получить разрешающие времена до 30 нсек только путем применения более высокочастотных транзисторов и диодов, без внесения изменений в схему.

В таблице 2 приведены результаты испытаний декады в целом.

Т а б л и ц а 2

Типы триодов	Типы диодов	Разрешающее время нсек.	Примечание
П403	Д2В	80	Двойные импульсы
-"-	-"-	150	Тройные импульсы
П403	Д18	50	Тройные импульсы
П403	Д18	12 мгц	Периодические импульсы

в) Были проведены испытания в условиях повышенных температур окружающей среды для двух быстрых и двух медленных декад. Испытания проводились до температуры $+50^{\circ}\text{C}$ с выдержкой в течение часа. Работа декад проверялась при частоте следования входных импульсов 100 кгц (для медленных декад) и 1 Мгц (для быстрых декад), а также при разовом запуске. Декады работали устойчиво в указанном диапазоне температур. Декады, подобранные исследованным, продолжительное время использовались в экспериментах на ускорителях ОИЯИ.

Конструктивное оформление декад и прибора

На основе проделанных исследований был выполнен пересчётный прибор, который содержит 6 декад, две из которых быстрые. Таким образом, счётная емкость прибора равна 10^6 импульсов. Декады выполнены методом печатного монтажа на платах размерами 165x93 мм. Для крепления плат использовались оправки от ячеек вычислительной машины с 30-ю контактными телефонными разъемами. Конструктивное исполнение декады демонстрируется на рис. 5. Индикационные лампы монтировались отдельно от основной платы, на передней панели прибора. Используемые при монтаже детали, в том числе транзисторы и диоды, соответствуют заводским паспортным данным.

Внешний вид прибора в целом показан на рис. 6. Размеры прибора соответствуют размерам стойки для физической аппаратуры, габариты его 190 x 430 x 450. В устройстве применяются два номинала напряжений питания: +1в и -10в. Полная мощность, потребляемая прибором, равна 18 вт.

В заключение авторы приносят благодарность инженеру В. Зонису за ряд измерений, А.П. Суслову за разработку печатного монтажа и И. Шинаглу, за разработку конструкции прибора.

Рукопись поступила в издательский отдел
23 мая 1963 г.

Л и т е р а т у р а

- И.Ф. Колпаков. Декадный пересчетный прибор с разрешающим временем 10^{-7} сек на полупроводниковых триодах. Препринт ОИЯИ Р-895, Дубна, 1961.
- T.K. Alexander and D.R. Heywood. Nucl. Inst. Meth., 13, 83 (1961).
- В.И. Гольдманский, А.В. Куценко, М.И. Подгорецкий. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. Физматгиз, 1959.
- Б.Н. Кононов. Симметричные триггеры на плоскостных полупроводниковых триодах. Госэнергоиздат. 1960.

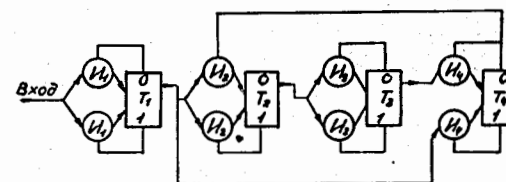
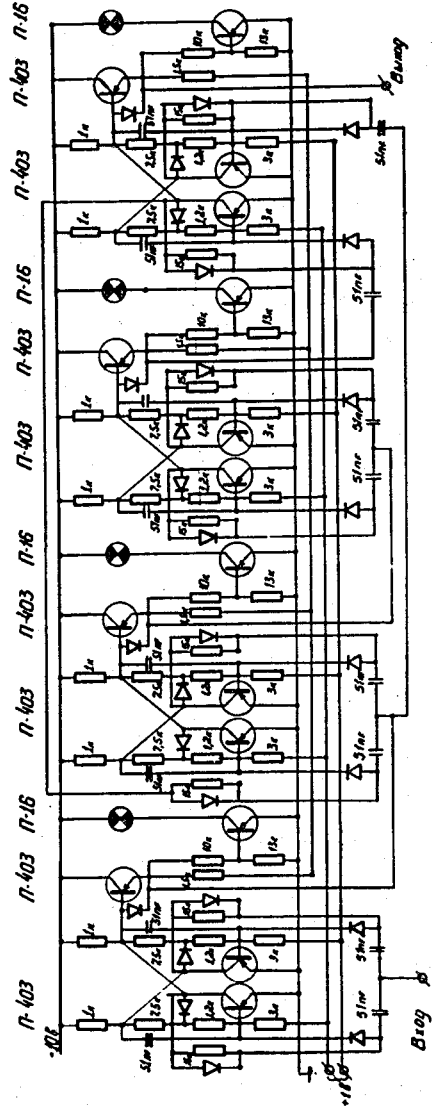


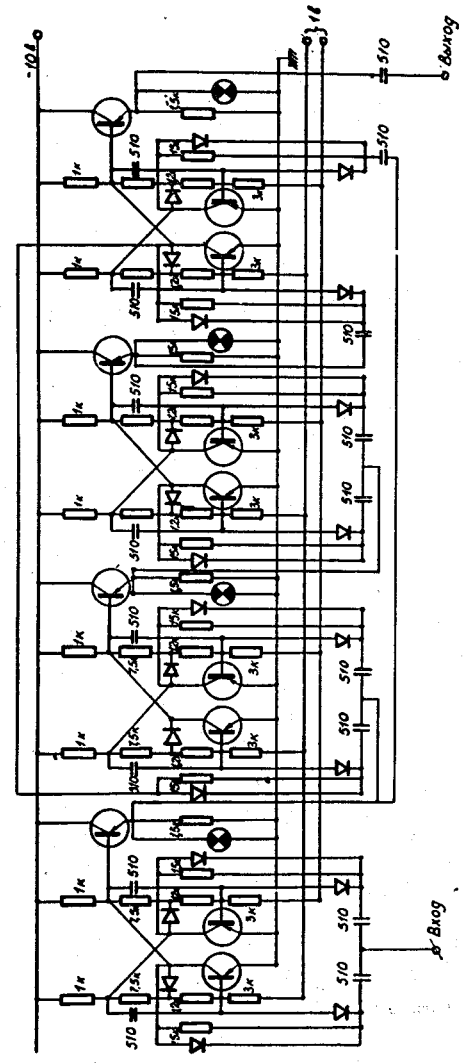
Рис. 1. Логическая схема декады.



Примечание:

Все диоды - Д2В
 Все конденсаторы КТМ или КТМ
 Все сопротивления МЛТ-0,25 Вт или УММ
 Лампы накаливания К-24-0,035 (монтируются отдельно)

Рис. 2. Принципиальная схема быстрой декады с индикацией.



Примечание:

Триоды П16-А
 Диоды Д1В
 Сопротивления МЛТ-0,25 Вт или УММ
 Конденсаторы КТК или КТМ
 Лампы накаливания К-24-0,035 (монтируются отдельно)

Рис. 3. Принципиальная схема медленной декады с индикацией.

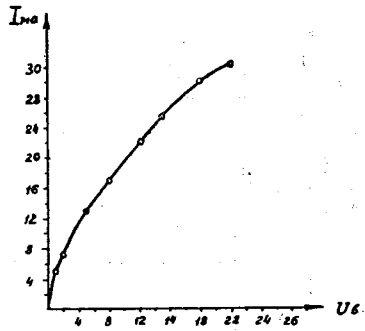


Рис. 4. Вольтамперная характеристика лампы К-24-0,035.

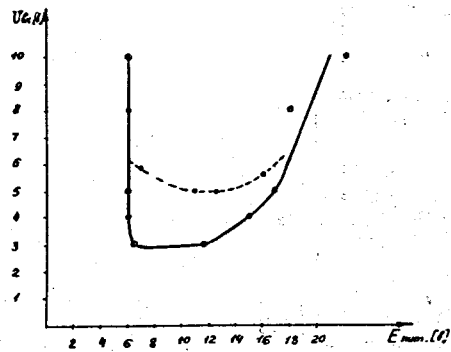


Рис. 5. Области работы быстрой декады.

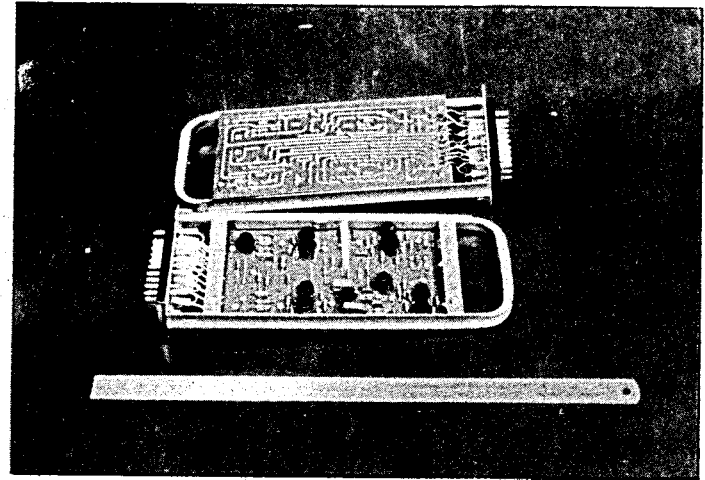


Рис. 6. Конструктивное выполнение декады.

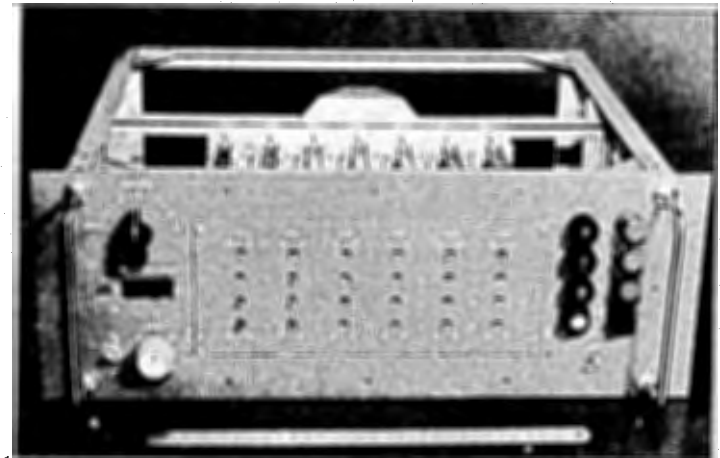


Рис. 7. Внешний вид прибора.