

с 344.38
Б-272

РБ/и

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2683



С.Г. Басиладзе

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ВРЕМЯ-АМПЛИТУДА
МИКРОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

1966

2683

4303/1 29

С.Г. Басиладзе

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ВРЕМЯ-АМПЛИТУДА
МИКРОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

Направлено в ПТЭ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Описываемый преобразователь разработан для измерения времени жизни мю-атомов водорода. Указанное требование определило диапазоны преобразуемых временных интервалов $0 \div 1$ мксек, $0 \div 10$ мксек. Обычная схема опытов по измерению времени жизни мю-мезонов или мю-атомов, образующихся в водороде, показана на рис. 1. Совпадение импульсов со сцинтилляционных счетчиков 1, 2, 3 дает импульс, соответствующий прохождению мю-мезона на мишень. Остановившийся в мишени мю-мезон дает при распаде электрон, регистрируемый схемой совпадений П. В случае присутствия в водороде атомов более тяжелых элементов возможно испускание мезорентгеновского гамма-кванта, регистрируемого сцинтилляционным счетчиком с кристаллом NaI.

Преобразователь работает по широко известному старт-стопному принципу, причем измерения могут вестись в двух режимах. В режиме нормальной временной шкалы (рис. 2) старт-импульсом является импульс прохождения μ -мезона, стоп-импульсом - импульс электрона или γ -кванта. С целью уменьшения числа запусков преобразователя используется режим обращенной временной шкалы (рис. 3), когда на старт-вход подается импульс электрона или γ -кванта, а на стоп-вход импульс μ -мезона, задержанный на величину временного диапазона преобразования.

В преобразователе используется схема блокировки при приходе в исследуемый интервал времени второго μ -мезона^{/1,2/}. Схема блокировки двояных импульсов μ -мезонов запрещает прохождение импульса электрона после появления второго μ -мезона. Преобразователь имеет счетные выходы числа старт-импульсов, стоп-импульсов, двояных импульсов μ -мезонов и числа импульсов, поданных на анализатор. При работе с преобразователем использовался амплитудный анализатор типа АИ-258.

Описание блоков преобразователя

Блок время-амплитуда.

Блок-схема время-амплитуда приведена на рис. 4,

на рис. 5 представлена временная диаграмма работы блока. Принцип работы конвертора - заряд емкости постоянным током в течение исследуемого временного интервала, широко известен ^{/3+12/}. Он позволяет сравнительно простыми средствами получить хорошее временное разрешение, линейность, работать непосредственно с амплитудным анализатором.

Старт-стопный триггер, запускаемый старт-импульсом, включает конвертор, на выходе которого появляется сигнал с амплитудой, пропорциональной времени. Одновременно он открывает ворота, через которые стоп-импульс (сбрасывающий триггер в начальное состояние) запускает одновибратор управления. Одновибратор управления запрещает заряд и разряд емкости конвертора, открывает линейные ворота и импульс с выхода конвертора проходит на анализатор. Одновибратор управления дает также счетный импульс, который можно использовать для управления анализатором. При отсутствии стоп-импульса в заданном временном интервале, триггер сбрасывается старт-импульсом, прошедшим через схему задержки. При этом интегрирующая емкость начинает разряжаться до начального состояния (на рис. 5 штрих-пунктир). Длина временной задержки определяет величину временного диапазона.

Принципиальная схема блока время-амплитуда представлена на рис. 6, линейная схема пропускания показана на рис. 7. Старт-стопный триггер собран по схеме Шмидта на транзисторах T_1 и T_2 , связь между транзисторами (с коллектора первого на базу второго) осуществляется опорным диодом D_2 . Разброс величины опорного напряжения диода компенсируется подстройкой сопротивления в коллекторе триода T_2 . Стоп-импульс и импульс сброса складываются на схеме сложения (триоды $T_8 \div T_{10}$) и подаются в коллектор триода T_1 . Чувствительность триггера при длительности запускающих импульсов 50 нсек составляет 1 в. Для обеспечения работы при больших нагрузках все связи в триггере выполнены по постоянному току. На всех входах поставлены восстанавливающие диоды для ликвидации сдвига уровней из-за зарядки входных емкостей. Импульс с выхода триггера через эмиттерный повторитель на триоде T_3 подается на конвертор и управляющий вход схемы пропускания.

В схеме приняты меры против возможного сбоя сбросового импульса. Управление конвертором ведется через емкость 0,01 мкф, заряд которой через 20 мксек обеспечивает возвращение конвертора в начальное состояние. Этим достигается устранение ложного импульса с выхода конвертора при последующем случайном приходе стоп-импульса. Связь со схемой пропускания (триоды T_{11} , T_{12}) выполнена по постоянному току, так как при емкостной связи приходу стоп-импульса в этом случае будет соответствовать положительный сигнал в базе триода T_{11} и отрицательный - в эмиттере (дифференцированный задний фронт с выхода триггера). Сумма этих сигналов превышает предельно допустимое напряжение эмиттерного перехода T_{11} .

Конвертор выполнен на триодах $T_4 \div T_6$. Интегрирующая емкость C заряжается постоянным током, переключаемым между транзисторами дифференциальной пары T_4 и T_6 . Во время преобразования транзистор T_6 работает в режиме с общей базой, а нагрузочный триод T_5 закрыт. Это обеспечивает высокое выходное сопротивление генератора постоянного тока. Кроме того, величина этого тока выбрана существенно больше токов утечек, поэтому схема имеет высокую линейность преобразования. Восстанавливающий диод D_6 в базе триода T_6 служит одновременно для компенсации температурного дрейфа потенциала эмиттера T_6 . Подобные принципы построения конверторов описаны в работах /7,10-12/.

В начальном состоянии триод T_4 открыт, триод T_6 закрыт, а триод T_5 насыщен. В схеме использован высокочастотный германиевый триод транзистор, с граничной частотой усиления по току 700 МГц. При приходе положительного управляющего перепада напряжения с триггера триод T_4 закрывается и закрывает триод T_5 . Ток общего эмиттерного сопротивления T_4 и T_6 через триод T_6 заряжает емкость C . При окончании управляющего импульса триод T_6 закрывается, триод T_4 открывается и открывает триод T_5 , током которого емкость C разряжается примерно с той же скоростью, что и при заряде. Если триггер возвращается в исходное состояние не сбросовым сигналом, а стоп-импульсом, то одновременно срабатывает одновибратор управления, который выдает на сопротивление в базе триода T_5 импульс тока запрета разряда длительностью 1 мксек. Этим импульсом триод T_5 поддерживается в закрытом состоянии, несмотря на открывание триода T_4 , поэтому заряд на емкости C остается постоянным. Таким образом формируется плоская вершина импульса, необходимая для работы анализатора. Переключением интегрирующей C изменяются диапазоны времени преобразования. Уменьшением величины токозадающего сопротивления дифференциальной пары можно плавно вдвое уменьшать временной диапазон работы конвертора. Максимальная амплитуда выходного импульса конвертора составляет 6в.

Поскольку в случае одновременного прихода старт и стоп-импульсов триггер может давать ложные срабатывания, запускающие конвертор, введена цепь запрета заряда емкости во время работы одновибратора управления. При этом с одновибратора на базу триода T_6 подается положительный импульс, поддерживающий T_6 в закрытом состоянии, даже при срабатывании триггера.

Одновибратор управления собран на транзисторах $T_{14} - T_{16}$, он является транзисторным эквивалентом схемы /13/, с времязадающей емкостью, включенной между эмиттерами триодов T_{14} и T_{15} . В начальном состоянии T_{14} закрыт, а T_{15} проводит. Триод T_{15} закрывается положительным входным импульсом через повторитель T_{13} . Триод T_{14} открывается и времязадающая емкость 1500 пф через его эмиттер и сопротивление 2 к в эмиттере T_{15} заряжается до тех пор, пока не откроется триод T_{15} .

после чего происходит обратный переброс схемы. Дiod D_{10} включен для уменьшения времени восстановления схемы. С эмиттерного повторителя на триоде T_{13} снимаются импульсы управления воротами и счетный импульс. С эмиттера триода T_{18} снимается импульс запрета заряда, с его коллектора подается ток запрета разряда.

Принцип работы линеинных ворот (рис. 7) на основе токовых ключей описан в работе^{/14/}. Транзистор T_{18} используется для управления прохождением входного тока через триод T_{17} . При помощи дифференциальной пары на триодах T_{19} и T_{20} компенсируется пьедестал, вызванный переключением режимного тока T_{18} в триод T_{17} . Тумблером $Tб_2$ схема может переводиться в открытое состояние.

Схема задержки. Принципиальная схема задержки приведена на рис. 8. Схема состоит из формирователя входного импульса (триоды T_1 и T_2), выходного импульса (триоды $T_3 - T_5$) и линии задержки. Линия задержки собрана из 48 секций по 2x20 витков, проводом 0,1 мм на полиэтиленовом стержне диаметром 7 мм. Использовалось 8 стержней высокочастотной изоляции кабеля РК-100-7-11, длиной 180 мм, по 6 секций на каждом стержне. Входной формирователь дает положительный импульс тока амплитудой 14 ма, длительностью 50 нсек в линию задержки, нагруженную на ее волновое сопротивление. Отразившись от короткозамкнутого конца, импульс меняет знак и через $2 t_3$ (t_3 - временная длина линии) открывает триод T_3 . Закорачивая переключателем отдельные секции линии, можно менять время задержки в пределах от 0,2 до 5,0 мксек. Длительность выходного импульса при этом изменяется от 0,1 до 0,2 мксек, амплитуда его равна 3 в, передний фронт не хуже 50 нсек.

Блокировка двоекных импульсов μ -мезонов. Блок-схема блокировки двоекных импульсов μ -мезонов приведена на рис. 9, на рис. 10 дана временная диаграмма работы. Принцип действия подобных схем описан в работе^{/1/}. Каждый входной импульс от μ -мезона заряжает емкость преобразователя $T \rightarrow A \rightarrow T$ до определенной величины, которая выбирается ниже порога срабатывания триггера Шмидта. В течение интервала времени блокировки емкость разряжается до первоначального значения напряжения. Если в течение этого времени приходит второй импульс μ -мезона, то суммарное значение напряжения превысит порог срабатывания триггера Шмидта. Триггер Шмидта выдает импульс запрета на нормально открытую схему пропускания импульсов электронов. Электронный вход блокируется и возможный импульс от электрона распада второго μ -мезона, искажающий временное распределение, не проходит на вход блока время-амплитуда. На электронный вход поставлена линия задержки, чтобы компенсировать задержку закрывания ворот в случае одновременного прихода импульсов от μ_2 и e_2 .

На рис. 11 приведена принципиальная схема блокировки двоекных импульсов

μ - мезонов. Преобразователь Т-А-Т собран по описанной выше схеме конвертора. За время действия входного импульса (50 нсек) интегрирующая емкость 200 пф заряжается примерно на 2 в. Разряд емкости постоянным током коллектора Т₃ дает возможность использовать схему в качестве трансформатора временных интервалов. Ток разряда емкости в 10-20 раз меньше тока заряда, он регулируется изменением сопротивления в эмиттерах дифференциальной пары Т₁ и Т₂. Благодаря этому имеется возможность изменять диапазон времени блокировки в пределах 5-10 мксек.

Триггер Шмидта, с порогом срабатывания \approx 2,5 в, собран на транзисторах Т₆ и Т₈. Поскольку от триггера не требуется высокого быстродействия, он собран по обычной схеме^{/15/}. Выходной импульс положительной полярности с амплитудой 3 в через эмиттерный повторитель на триоде Т₇ подается на нормально открытую схему пропускания^{/2/}, собранную на триодах Т₈-Т₉.

В схеме использована линия задержки типа Э-10 на 0,125 мксек, с волновым сопротивлением 300 ом, согласующее сопротивление поставлено на вход линии задержки.

Разветвитель. В преобразователе используются разветвители, принципиальная схема которых показана на рис. 12. Схема может использоваться как сумматор импульсов. Схема рассчитана на положительные и отрицательные входные и выходные сигналы амплитудой до 3 в.

Характеристики преобразователя

Измерение дифференциальной нелинейности преобразователя производилось по известному способу задания случайных временных интервалов^{/4,8,8,9/}. В данной работе для более полного моделирования реальных условий работы и старт-и стоп-импульсы были статистически распределены во времени. Калибровка временной шкалы преобразователя производилась по методу, предложенному в^{/16/} по блок-схеме, показанной на рис. 13. Сначала отключался генератор 5 МГц и схемы совпадений работали по одному каналу от шумов ФЭУ. Вид полученного спектра показан на рис. 14, дифференциальная нелинейность не хуже 3% (каждая точка является усредненной по 5 каналам анализатора). При измерении интегральной линейности подключался генератор 5 МГц и схемы совпадений (включенные на двойные совпадения) отбирали из всех временных интервалов только кратные периоду генератора. Вид полученного спектра показан на рис. 15, расстояние между пиками, очевидно, равно 200 нсек. На рис. 16 показана построенная из этого спектра кривая линейности преобразователя, служащая одновременно калибровочной кривой. Интегральная нелинейность не хуже 1%, кривая практически совпадает с кривой линейности усилителя анализатора.

Для проверки работы преобразователя проводилось, по описанной выше методике, измерение времени жизни μ -мезонов в углероде. На рис. 17 показан временной спектр от электронов распада. Кривая 1 снималась при осуществлении блокировки двоек импульсов μ -мезонов, кривая II - без блокировки (точки усреднены по 3 каналам анализатора). При 2,5 тысячах в секунду прохождений μ -мезонов на мшень счет электронов составлял ≈ 10 штук в секунду. На рис. 18 показаны результаты двух измерений временного распределения электронов в полулогарифмическом масштабе. Полученное время жизни близко к 2 мксек^{/17/}.

Работа преобразователя проверялась и в диапазоне 0 \pm 1 мксек. На рис. 19 и рис. 20 представлены результаты калибровки шкалы преобразователя. С помощью схемы задержек проводились измерения временного разрешения преобразователя. Импульс с выхода схемы задержки записывается в один канал анализатора (в диапазоне 0 \pm 0,5 мксек), что соответствует времени разрешения преобразователя не хуже 1 нсек. С помощью схемы задержек проводились также измерения долговременной стабильности всей системы, 20-часовая стабильность аппаратуры составила $\pm 1\%$.

В работе использовались схемы совпадений^{/18/} с временем разрешения 2 \pm 5 нсек. Преобразователь выполнен на триодах 1Т308Б и диодах типа Д10. Схема успешно используется в экспериментах на синхротроне ОИЯИ.

В заключение автор считает своей обязанностью выразить благодарность В.Г. Зянову за ряд ценных советов и обсуждений, а также В.В. Фильченкову и С.Б. Ворожцову за помощь в обработке спектров.

Л и т е р а т у р а

1. H. Weisberg, Nucl. Instr. and Meth., Vol. 32 (1965) nN1, 138.
2. С.Г. Басиладзе. Препринт ОИЯИ 2087, Дубна 1985.
3. G. Culligan and N. H. Lipman, The Rev. of Scient. Instr., Vol. 31, 1960, No 11, 1209.
4. А.А. Иवानов, В.М. Лыткина, А.А. Маталин, С.И. Чубаров. ПТЭ, № 4, 88, 1981.
5. I.C. Brun, R. Breuil et C. Victor, Proc. of the conf. on Nucl. Electr., Bergrade 15-20 May, 1961, Vol III, 99.
6. А.А. Иवानов, В.С. Нестеренко. Труды пятой научно-технической конференции по ядерной радиоэлектронике. Москва, 2, 30, 1983.
7. P. Vergezac et J. Kahane. Intern. Symp. Nucl. Electr., Paris 1963, 629.
8. Л. Алмаши, Л. Шандор. Материалы 1 симпозиума по ядерной радиоэлектронике. Будапешт 14-19 октября 1983 г. Препринт ОИЯИ 1677, Дубна 1984, стр. 86.

9. Р. Думитреску. Материалы I симпозиума по ядерной радиоэлектронике, Будапешт 14-19 октября 1963 г. Препринт ОИЯИ 1677, Дубна 1964 г. стр. 92.
10. D. Ophir, Nucl. Instr. and Meth., Vol. 28 (1964), No 2, 237.
11. A.E. Blaugrund and Z. Vager, Nucl. Instr. and Meth., Vol 29 (1964) No 1, 131.
12. H. Brafman, Nucl. Instr. and Meth., Vol 34 (1965), No 2, 239.
13. А.М. Бонч-Бруевич. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. ГИТТЛ 1956 г., стр. 428.
14. V. Goursky, H. Guillon, Instrum. Symp. Nucl. Electr., Paris 1963, 313.
15. И.П. Степаненко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. ГЭИ 1963г. стр. 279.
16. В.Г. Зянов. ПТЭ № 1, 165, (1963).
17. M. Eckhause, T. A. Fillipas, R.B. Sutton and R.E. Welsh, Phys. Rev., 132, 422 (1963).
18. С.Г. Басиладзе. Препринт ОИЯИ 2339, Дубна 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 апреля 1966 г.

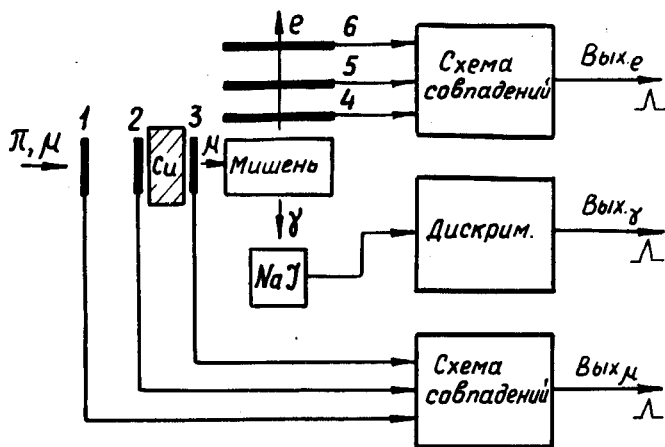


Рис. 1. Схема опыта по измерению времени жизни μ -мезонов.

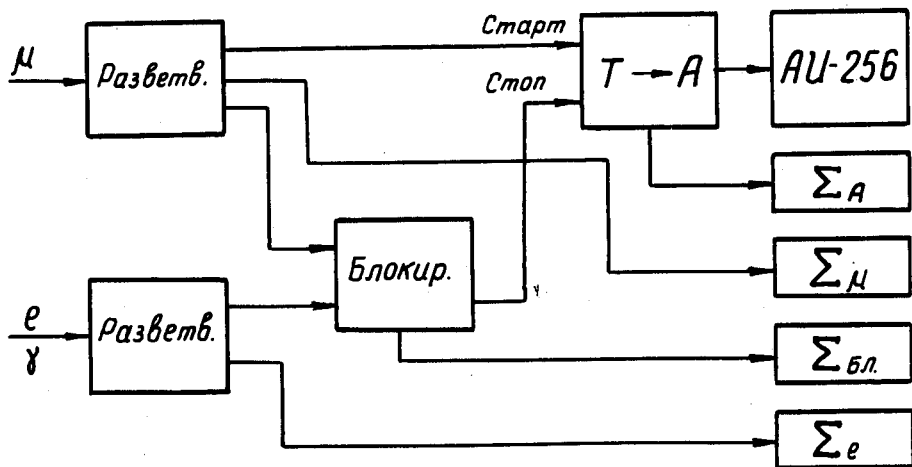


Рис. 2. Блок-схема работы преобразователя в режиме нормальной временной шкалы.

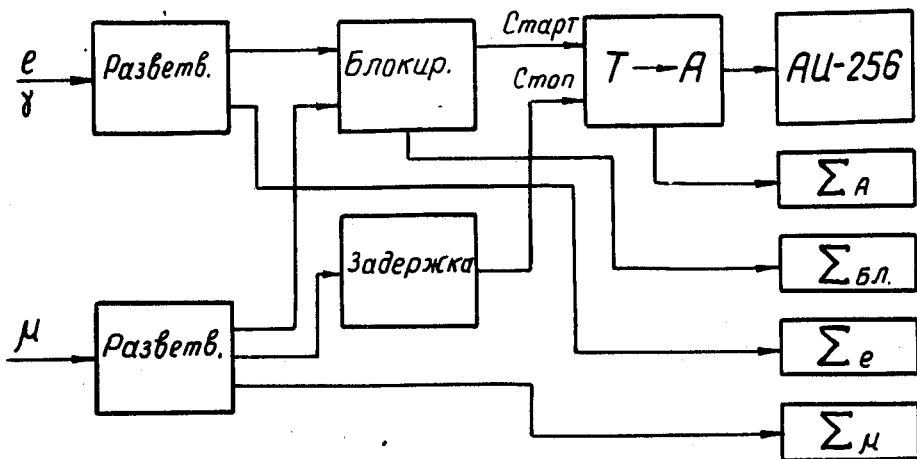


Рис. 3. Блок-схема работы преобразователя в режиме обращенной временной шкалы.

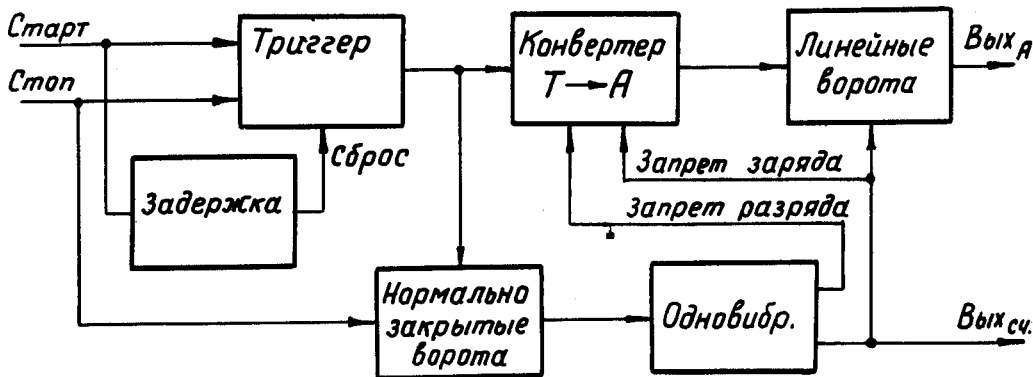


Рис. 4. Блок-схема блока время-амплитуда.

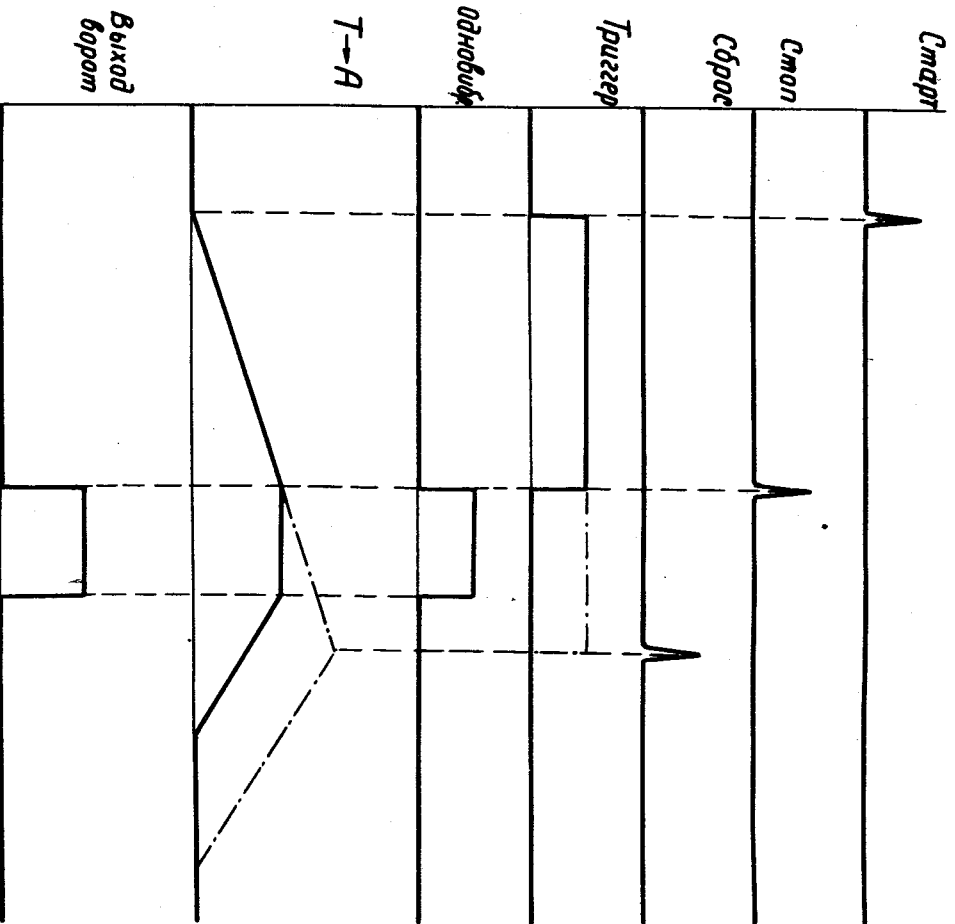


Рис. 5. Временная диаграмма работы блока в режиме амплитуды.

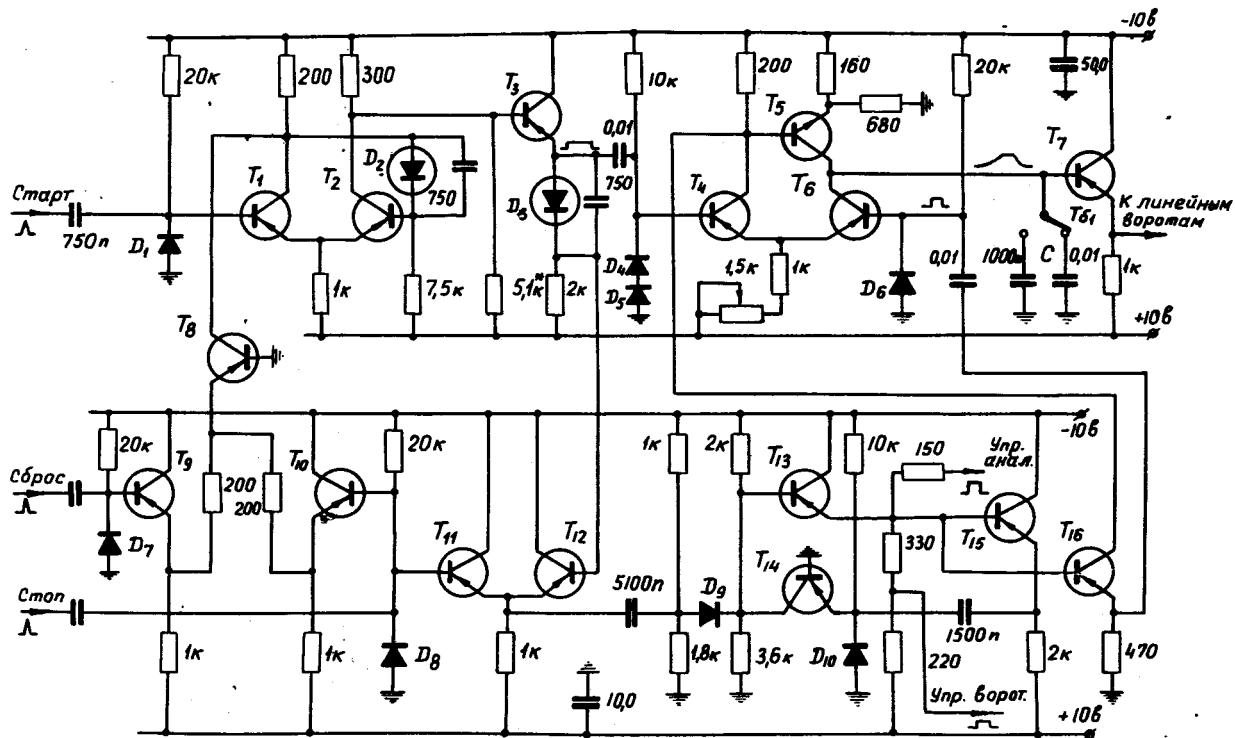


Рис. 6. Принципиальная схема блока время-амплитуда.

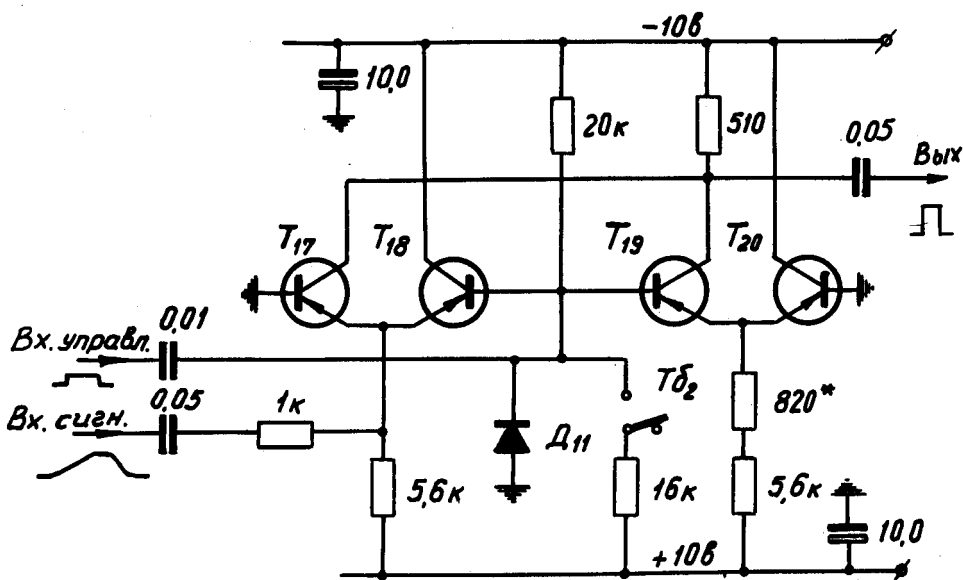


Рис. 7. Принципиальная схема линейных ворот.

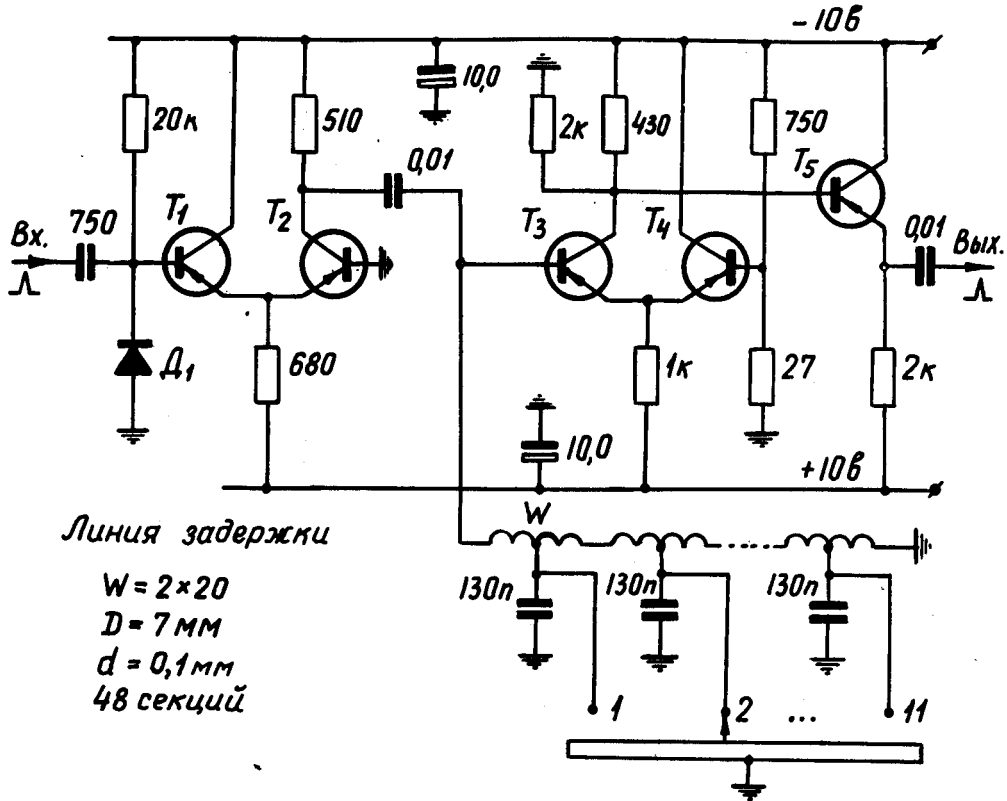


Рис. 8. Принципиальная схема блока задержки.

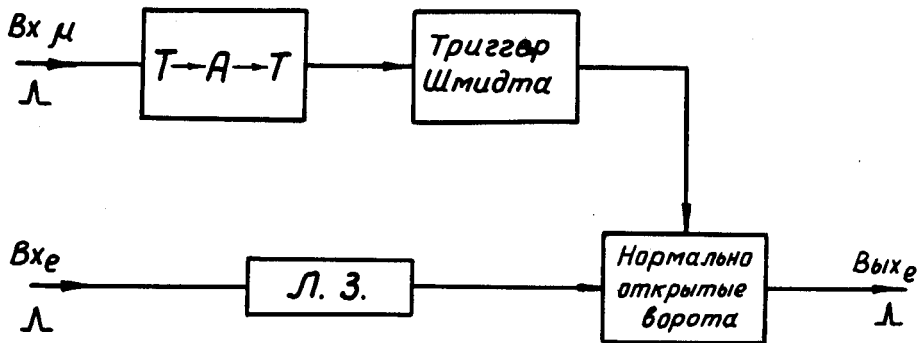


Рис. 9. Блок-схема блокировки двойных импульсов μ -мезонов.

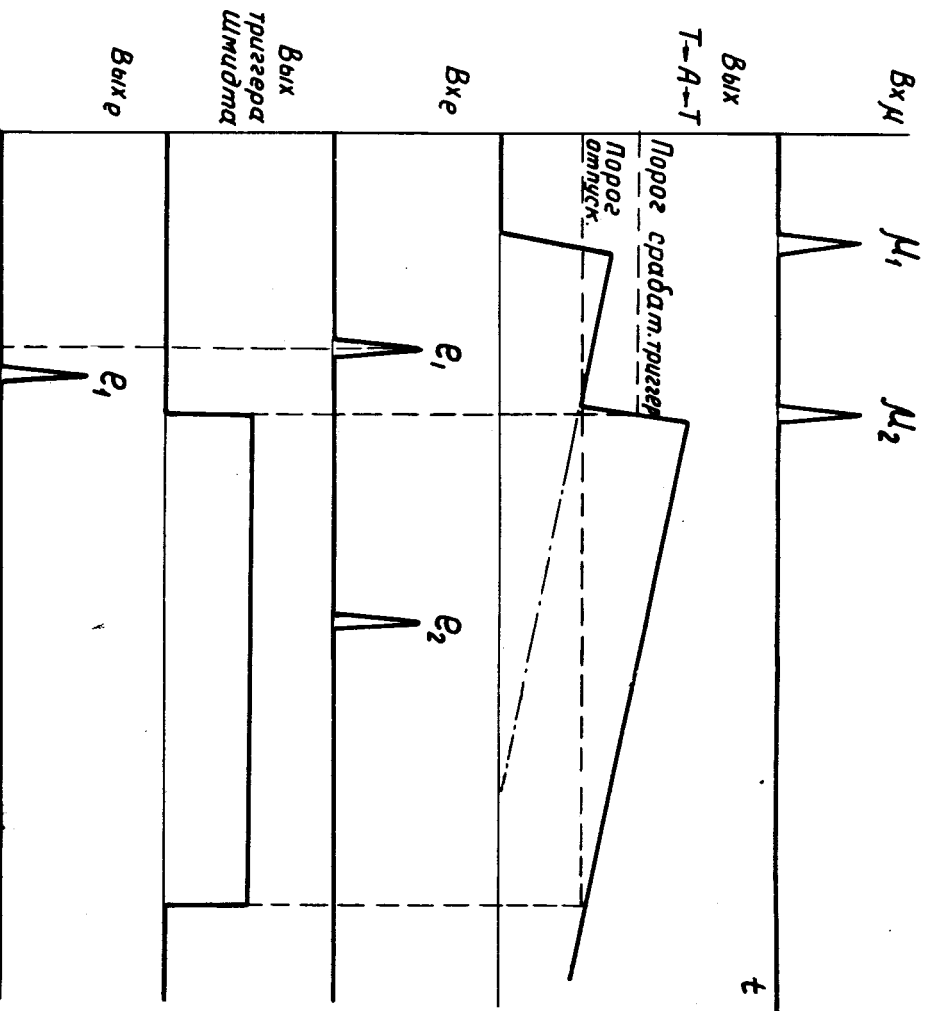


Рис. 10. Временная диаграмма работы схемы блокроста.

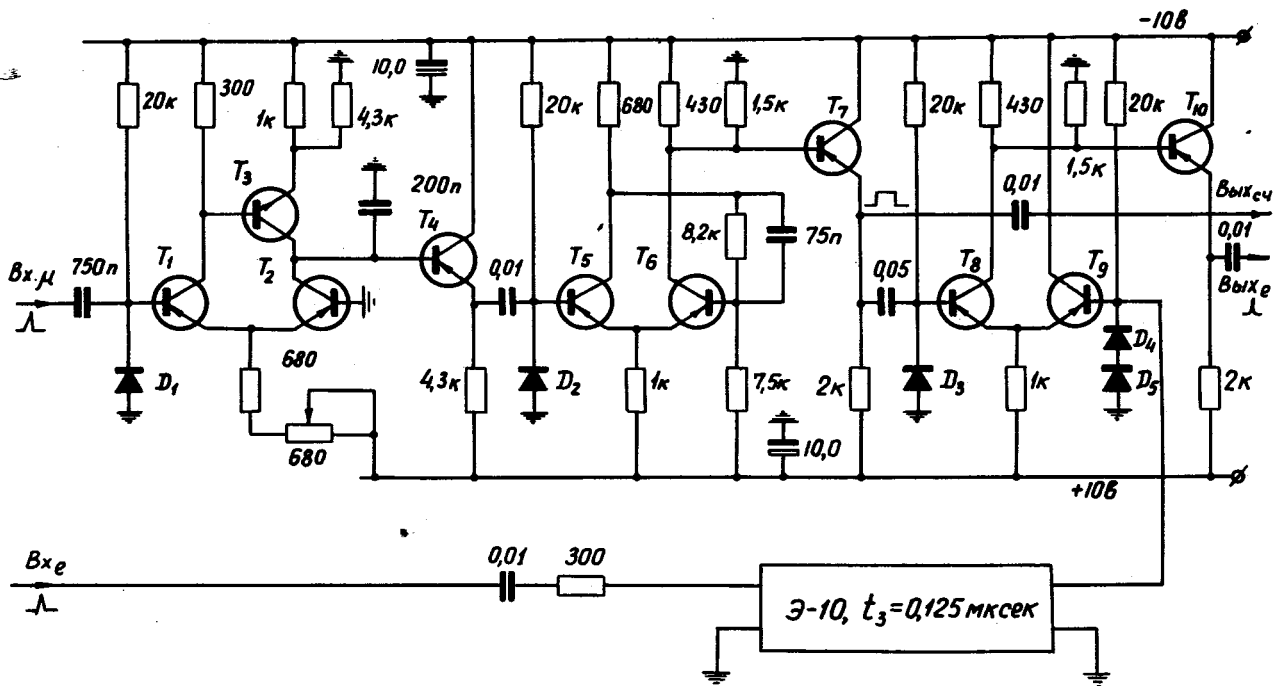


Рис. 11. Принципиальная схема блокировки сдвоенных импульсов μ -мезонов.

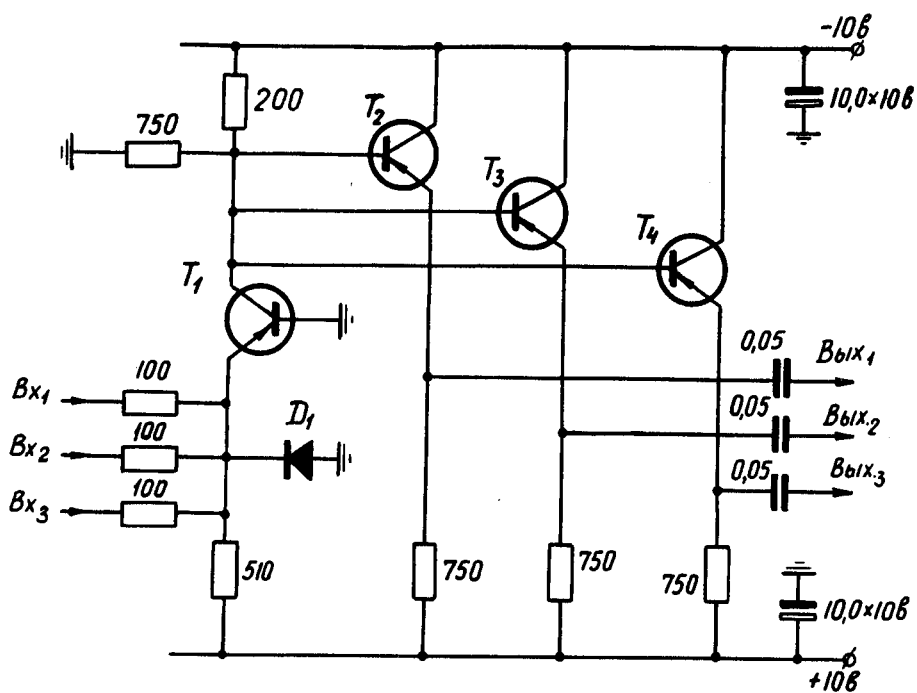


Рис. 12. Принципиальная схема разветвителя.

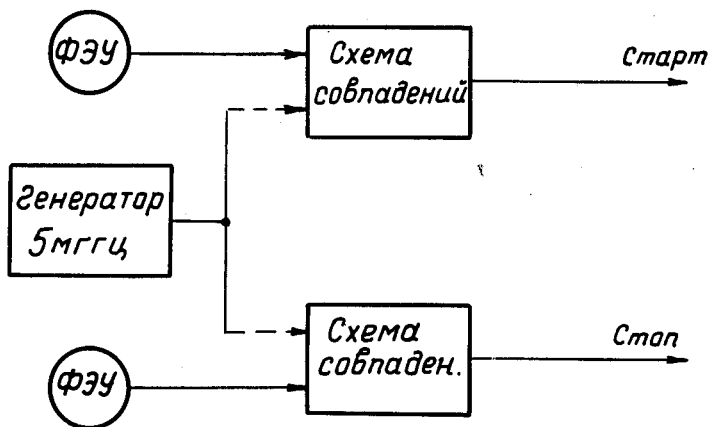


Рис. 13. Схема калибровки преобразователя.

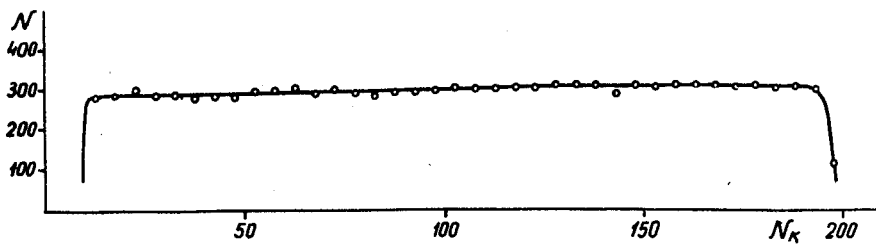


Рис. 14. Спектр от шумов двух ФЭУ.



Рис. 15. Спектр от шумов двух ФЭУ, модулированный частотой 5 Мгц.

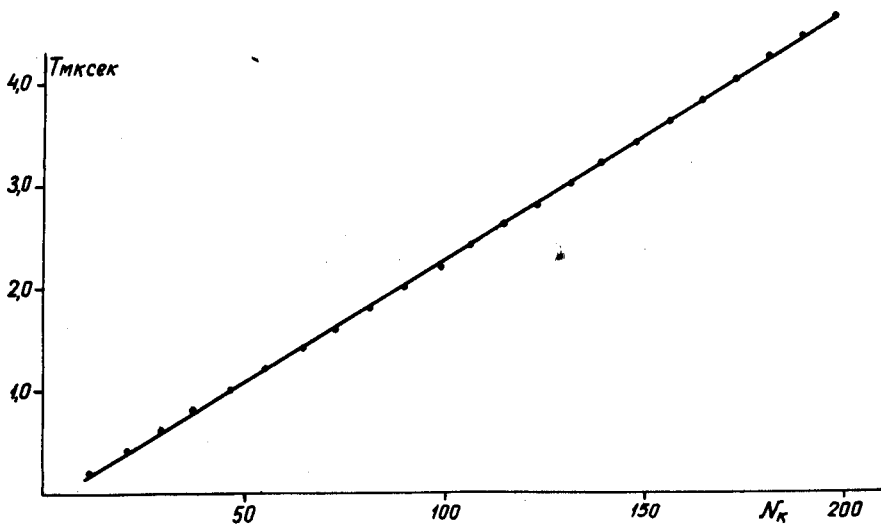


Рис. 16. График линейности преобразователя.

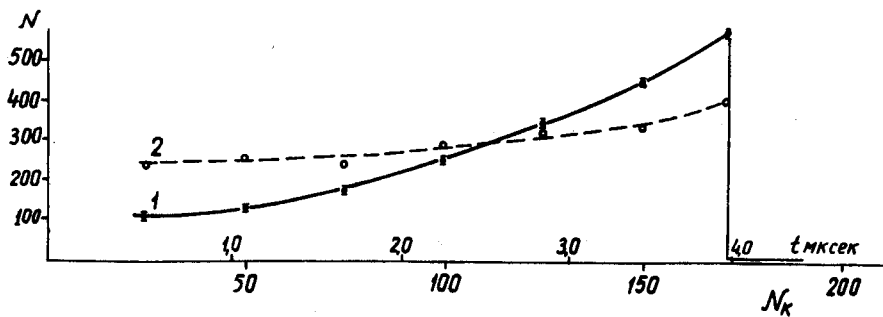


Рис. 17. Спектр электронов распада.

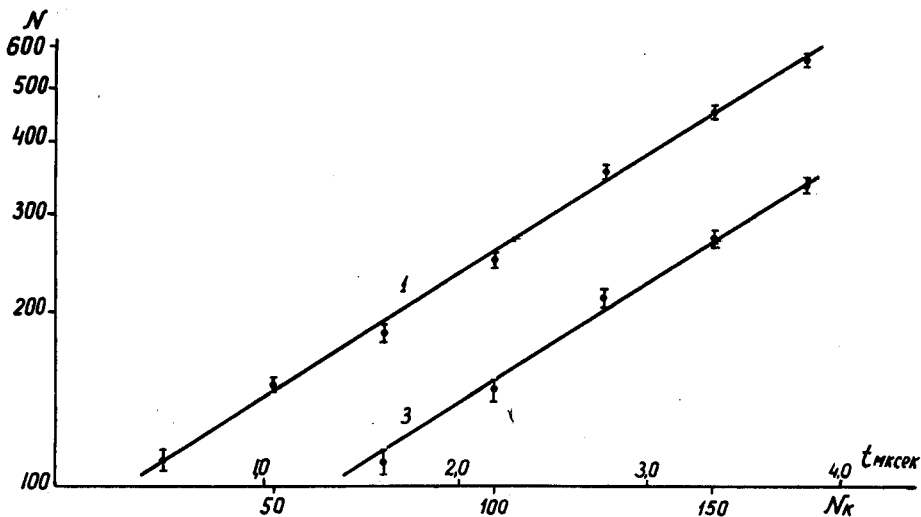


Рис. 18. Спектры электронов распада в полулогарифмическом масштабе.

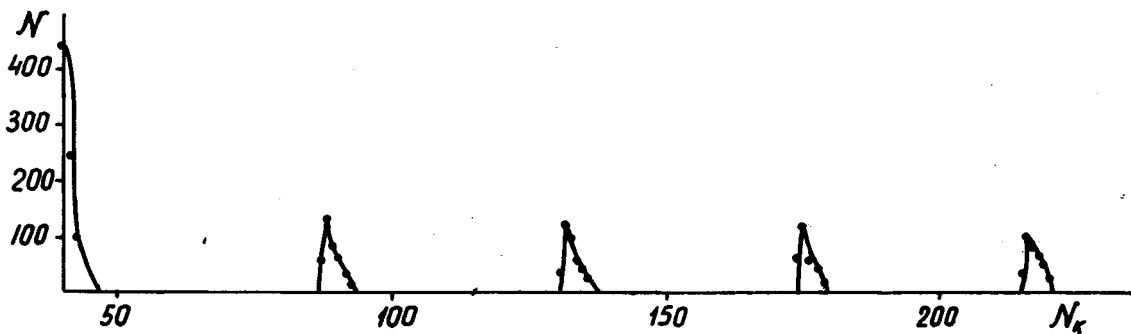


Рис. 19. Спектр двух ФЭУ, модулированный частотой 10 МГц (в диапазоне 0-1 мксек).

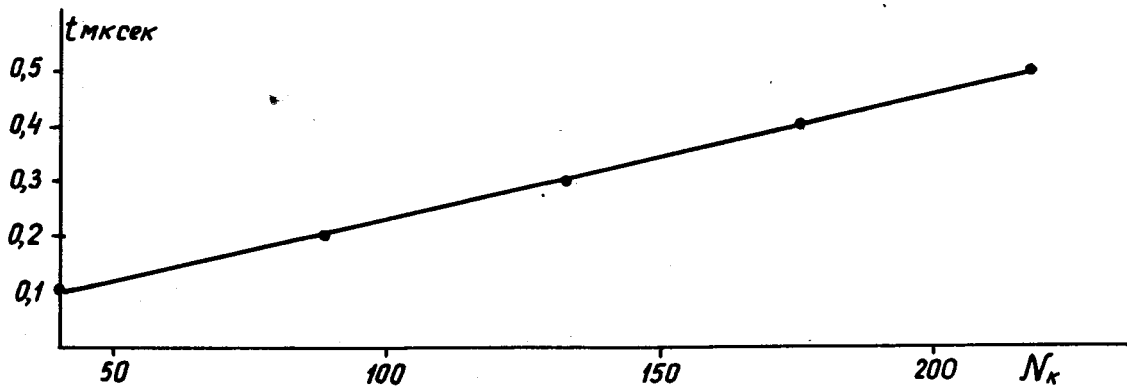


Рис. 20. График линейности преобразователя в диапазоне 0-1 мксек.

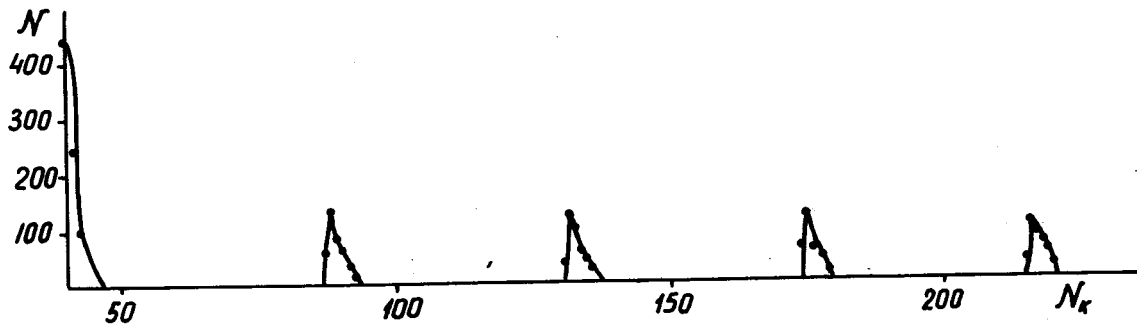


Рис. 19. Спектр двух ФЭУ, модулированный частотой 10 Мгц (в диапазоне 0-1 мксек).

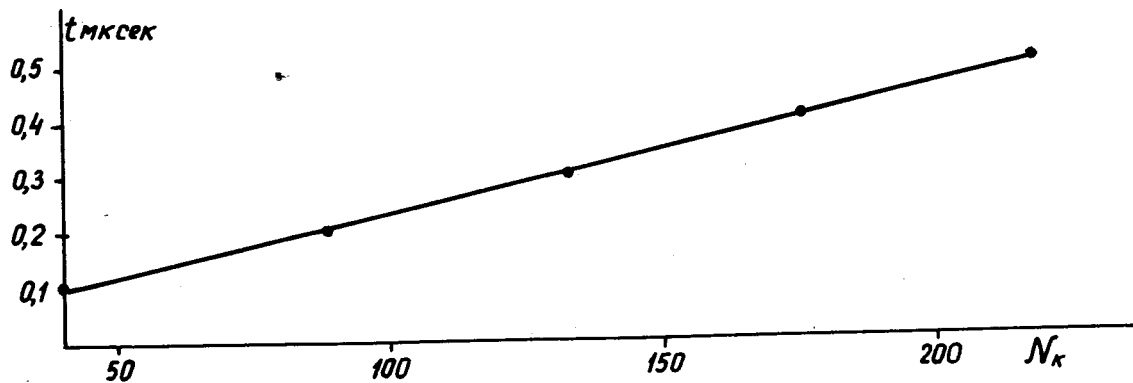


Рис. 20. График линейности преобразователя в диапазоне 0-1 мксек.