



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

И.Ф. Колпаков

1417

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СХЕМА
СОВПАДЕНИЙ-АНТИСОВПАДЕНИЙ
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА
НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Дубна 1963

Колпаков И.Ф.

Многоканальная схема совпадений-антисовпадений
наносекундного диапазона на полупроводниковых
элементах

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна. 1963.

Kolpakov I.F.

Nanosecond Transistorized Coincidence - Anticoincidence Circuit

Preprint Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna. 1963.

И.Ф. Колпаков

1417

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ СХЕМА
СОВПАДЕНИЙ-АНТИСОВПАДЕНИЙ
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА
НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

Направлено в ПТЭ

Дубна 1963

А н н о т а ц и я

Описана 4-канальная схема совпадений с одним каналом антисовпадений, работающая по принципу сложения токов на туннельном диоде со входными формирователями на транзисторах, которая предназначена для временного анализа событий, регистрируемых быстрыми сцинтилляционными счетчиками. При испытании схемы от α -источника с формирующими кабелями длиной 1 м получены разрешающие времена: для совпадений 10 нсек и для антисовпадений 7 нсек, при спаде кривых разрешения 5 нсек и 3 нсек для совпадений и антисовпадений, соответственно. Коэффициент отбора схемы ≈ 10 . Эффективность антисовпадений $\sim 10^{-3}$. Мертвое время схемы, оцененное с помощью генератора тройных импульсов, составляет 30 нсек. Было provedено, что схема не изменяет существенно временных характеристик до температуры $+50^\circ\text{C}$. Допустимый диапазон амплитуд входных импульсов $\sim 0,15 \div 8$ в. Схема выполнена в виде блока, предназначенного для размещения в кассете стойки для физических экспериментов, с высокочастотными разъемами на передней панели. Переключатель, задающий кратность совпадений, расположен также на передней панели. В схеме использованы высокочастотные диффузионные триоды с граничной частотой порядка 700 Мгц, диоды Д10 и туннельный диод на p -германии с максимальным током 10 ма.

Abstract

The coincidence circuit with four coincidence and one anticoincidence channels is described. The principle of the circuit is current addition by a tunnel diode. On the inputs of the single channels there are transistor pulse shapers. During the test of the circuit an α -source and 1 meter long shaping cables were used. A resolution time of 10 nsec for coincidence and 7 nsec for anticoincidence was obtained with fall times 5 nsec and 3 nsec, respectively. The coincidence-anticoincidence ratio for output pulse is about 10. The anticoincidence efficiency is 10^{-3} . The value of the dead time measured by a triple pulse generator is about 30 nsec. The circuit did not change its time characteristics up to the maximum ambient temperature of $+50^\circ\text{C}$. The input amplitudes range is from 0.15 to 8 V. The hardware of the circuit is a plug-in unit, the sizes of which fit the instrumentation rack used in our Laboratory.

High-frequency diffused transistors with cut-off frequency of 700 Mc/sec, diodes D 10 and p -germanium tunnel diode with peak current of 10 ma were used everywhere.

Описываемая схема предназначена в основном для временного анализа событий, регистрируемых сцинтилляционными счетчиками с быстрыми фотоумножителями и пластическими сцинтилляторами на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Она является схемой сложения на пороговом элементе, срабатывающем при появлении событий на всех входах и не срабатывающем, когда на одном или нескольких входах события отсутствуют (схема "И"). Сигналы, поступающие на пороговый элемент, должны быть сформированными по длительности и амплитуде. В быстрых схемах совпадений в качестве порогового элемента применяются туннельные диоды^{1,2/}.

Принцип работы схемы поясняется на рис. 1 а и б. Входы a, b, c, d являются входами совпадений, вход \bar{a} - входом антисовпадений. В начальном состоянии туннельный диод смещен в точку А на туннельном участке вольтамперной характеристики, и через него следует ток I_0 , равный $I_{\text{см}} - \sum_{i=1}^n I_i$. Ток $I_{\text{см}}$ смещает диод в прямом направлении (благоприятствующем срабатыванию), компенсируя токи I_i , которые смещают диод в обратном направлении. Когда на входы a, b, c, d поступают сигналы, перекрывающие токи I_i , ток, смещающий туннельный диод в прямом направлении, увеличивается до величины I' , большей I_0 , в результате чего рабочая точка диода смещается в точку Д на диффузионной ветви характеристики. При наличии сигнала лишь на одном из входов совпадений рабочая точка смещается в В, при двух сигналах - в В, при трех - в Г. При поступлении сигналов на все пять входов совпадений не будет, так как со входа антисовпадений к току I_0 добавляется ток, препятствующий переключению диода.

При выборе начальной рабочей точки диода необходимо выполнить требование самостоятельного возвращения диода в исходное состояние после прекращения действия импульсов на входах совпадений. Для этого ток I_0 должен быть меньше тока минимума диода I_2 или даже, как показано на рис. 1б, иметь противоположную полярность для ускорения процесса восстановления. При выбранном пиковом токе туннельного диода I_1 и заданной кратности совпадений n ток смещения $I_{\text{см}}$ зависит от разброса величин входных токов I_i и связанного с этим разбросом допуска на разброс сопротивлений δ_R , от допустимого разброса пикового тока δ_{I_1} и от соображений, связанных с экономичностью схемы. При выборе смещения надо также помнить, что временные параметры схемы могут быть значительно ухудшены задержкой срабатывания туннельного диода, которая зависит от превышения входного тока

над пиковым током. Время задержки срабатывания при малых превышениях определяется соотношением /3/:

$$t = \frac{t}{2\sqrt{p}} \quad (1)$$

Чтобы $t_{\text{зад}}$ было сравнено с t , необходима достаточно большая величина превышения p . Таким образом, ток $I_{\text{см}}$ должен удовлетворять следующим неравенствам:

$$I_1(n-1)(1+\delta_R) + I_2(1+\delta_R) < I < nI_1(1-\delta_R) - pI_1(1+\delta_R), \quad (2)$$

где p - превышение над пиковым током, n - кратность совпадений, $i=4$. Зависимость выбора смещения туннельного диода в схеме "И" от допуска на детали и разброса пикового тока подробно рассматривается в работе /4/.

Входной формирователь приведен на рис. 2. В исходном состоянии триод открыт. Некоторый ток I_1 следует также через диод, включенный в эмиттер. По отношению к включению транзистора в схему с общим эмиттером импульс с входного кабеля является импульсом напряжения, и из-за большой крутизны входной характеристики триода достаточно небольших сигналов (порядка 0,3 в), чтобы триод оказался насыщенным. В представленной схеме насыщение не достигается до величин сигналов порядка напряжения коллекторного питания (верхняя граница входных напряжений определяется разностью между напряжением коллекторного питания и минимально допустимым падением напряжения на транзисторе, работающем в усилительном режиме, равным 1 в). При поступлении на вход схемы отрицательного импульса напряжения ток диода I_1 переключается в эмиттер триода, и диод закрывается. Вследствие добавки тока I_1 с коллекторной нагрузки снимается импульс напряжения. В эмиттер триода оказывается включенным большое сопротивление R , и схема является по характеру работы близкой к эмиттерному повторителю. Однако теперь из-за глубокой отрицательной обратной связи в коллекторе будет выделяться лишь небольшая часть входного сигнала. Формирование по амплитуде в коллекторе триода обеспечивается тем, что в эмиттер триода переключается один и тот же ток диода I_1 . Формирование по длительности производится короткозамкнутым отрезком кабеля, включенным вместе с согласующим сопротивлением в коллектор триода. Низкоомная нагрузка в коллекторе снижает амплитуду сигнала помехи, связанного с прямым прохождением входного сигнала через емкость база-коллектор.

Принципиальная схема приведена на рис. 3. Транзисторы T_1, T_3, T_5, T_7, T_9 используются в схемах формирователей. Транзисторы $T_2, T_4, T_6, T_8, T_{10}$ являются генераторами тока в схеме сложения (см. рис. 1а). Включение туннельного диода в коллекторы триодов является предпочтительным, так как ввиду малого сопротивления туннельного диода (единицы ом) постоянная времени для входного сигнала, проходящего через емкость база-коллектор, будет также малой, и амплитуда сигнала помехи-

незначительной. Транзисторы T_2, T_4, T_6, T_8 работают на закрытие, чем осуществляется дополнительное формирование входного сигнала по амплитуде. Амплитуда импульса напряжения, поступающего с формирователей, должна быть достаточной для надежного закрытия транзисторов, управляющих туннельным диодом; с другой стороны, она не должна превышать пробивного напряжения перехода база-эмиттер этих триодов. Транзисторы T_{11}, T_{12} служат для согласования схемы с пересчетным прибором. В канале антисовпадений инвертирование входного сигнала осуществляется трансформатором Tr_1 .

На рис. 4 дана зависимость амплитуды выходного сигнала от времени задержки в одном из каналов для температур $+20^\circ\text{C}$ и $+50^\circ\text{C}$ при испытании схемы от генератора на ртутном реле. Как видно из рисунка, основной спад амплитуды выходного сигнала от уровня 1,5 в до уровня 0,5 в происходит за время 0,4 нсек (изменение амплитуды выходного сигнала с температурой связано с изменением параметров транзисторов, так как амплитуда сигнала на туннельном диоде с температурой существенно не меняется). Коэффициент отбора схемы был больше 10.

На рис. 5 приводится зависимость амплитуды выходного сигнала от задержки в одном из каналов при двух разных температурах окружающей среды для случая работы антисовпадений. Видно, что подъем кривой антисовпадений от 0 до уровня 0,5 в происходит на задержке 0,5 нсек. Испытание производилось также с генератором на ртутном реле. Из рис. 4 и рис. 5 можно сделать заключение о том, что временные характеристики схемы существенно не изменяются вплоть до максимальной температуры испытаний, равной $+50^\circ\text{C}$.

На рис. 6 и 7 приводятся кривые разрешения для совпадений и антисовпадений, соответственно, снятые со сцинтилляционных счетчиков, работающими от α -источника. Спад кривой совпадений (от 0,9 до 0,1) происходит за время 5 нсек, антисовпадений - за 3 нсек. Эффективность антисовпадений - 10^{-3} .

Диапазон амплитуд входных сигналов - от 0,15 в до 8 в. Оценка мертвого времени схемы производилась с помощью генератора тройных импульсов с длительностью 15 нсек. При амплитуде входных импульсов 0,25 в и 1 в мертвое время по двойным и тройным импульсам составило 30 нсек. Интересно, что на самом диоде это время несколько меньше (15 нсек для двойных и 25 нсек для тройных импульсов с амплитудой 0,25 в).

На рис. 8 демонстрируются осциллограммы импульсов (калибровка по длительности всюду 7,5 нсек/см). На рис. 8а показаны сигналы, приходящие с фотоумножителя при работе от α -источника (калибровка по амплитуде -0,4 в/см), на рис. 8б - импульсы, сформированные кабелем по длительности (калибровка - 0,2 в/см), на рис. 8в - сигнал совпадений на туннельном диоде (калибровка - 0,2 в/см), на рис. 8г -

- сигнал на выходе схемы при совпадениях, на рис. 8д - при несовпадениях (калибровка - 1 в/см и 0,2 в/см, соответственно).

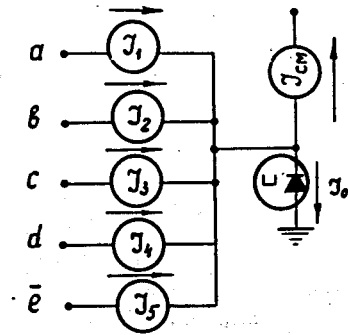
Схема выполнена в виде блока, предназначенного для размещения в кассете стандартной стойки для физических экспериментов, с разъемами ВЧ на передней панели. Переключатель, задающий режим работы схемы, - двойные, тройные и четырехкратные совпадения с каналом антисовпадений, расположен также на передней панели. Потребляемая мощность - 0,9 вт. В схеме использованы диоды Д10, высокочастотные маломощные диффузионные триоды с граничной частотой порядка 400 ± 700 Мгц и туннельный диод на р-германии с током максимума 10 ма.

В заключение автор приносит благодарность С.М.Коренченко за помощь в работе, обсуждения и ценные советы и Б.С.Краснобородову, проделавшему большую работу по монтажу, наладке и снятию характеристик схемы.

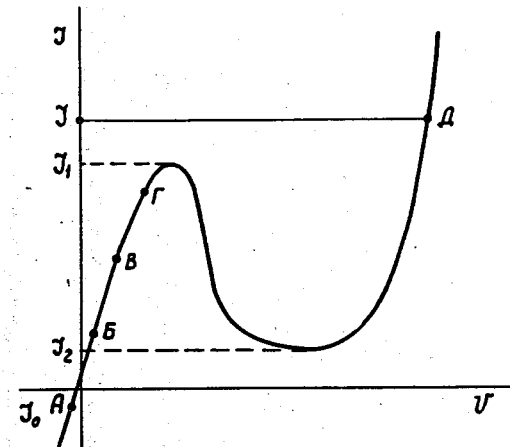
Л и т е р а т у р а

1. С. Infante, F. Pandarese. The Tunnel Diode as a Threshold Device; Theory & Application. Conference on Nuclear Electronics, Belgrade, 15-20 May, 1961, NE/71.
2. I. Hayashi, N. Yoshimura. Fast Counting Circuits for pulsed Accelerators. Conference on Nuclear Electronics, Belgrade, 15-20 May, 1961, NE/31.
3. Б.Н. Кононов, А.С. Сидоров, В.Ф. Леонов. Амплитудные дискриминаторы на туннельных диодах. ПТЭ (в печати).
4. Б.Н. Кононов, А.А. Орликовский. Применение туннельных диодов в быстродействующих устройствах хранения информации. Известия вузов СССР, серия "Радиотехника", 6, № 1 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 сентября 1963 г.



а)



б)

Рис. 1. Принцип работы схемы совпадений: а) эквивалентная схема, б) графическое пояснение.

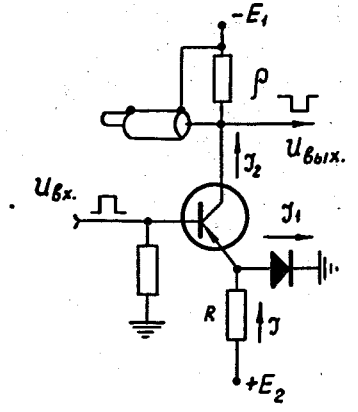


Рис. 2. Формирователь входных импульсов.

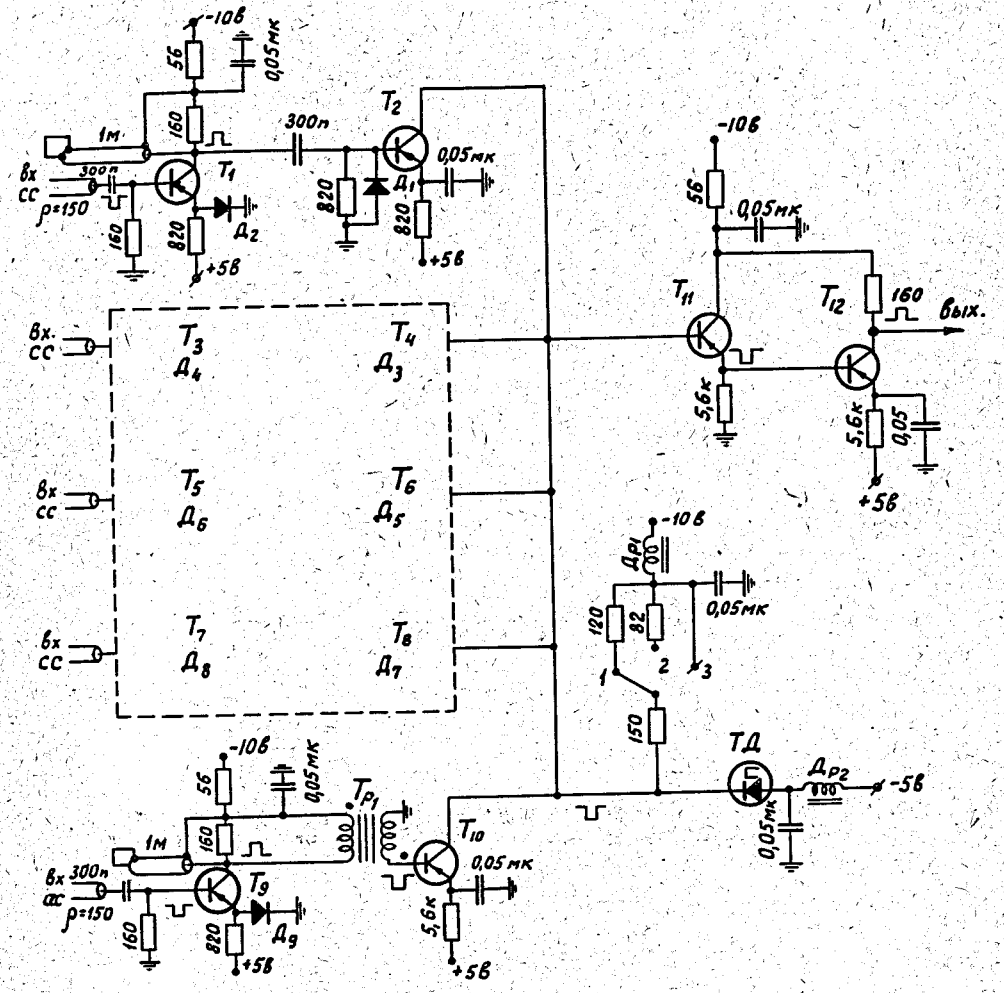


Рис. 3. Принципиальная схема

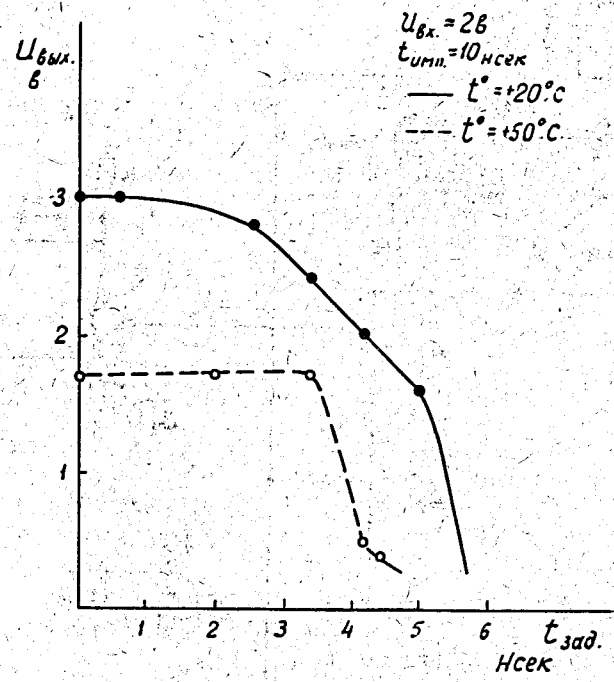


Рис. 4. Кривая задержанных совпадений при работе схемы с генератором прямоугольных импульсов для различных температур окружающей среды.

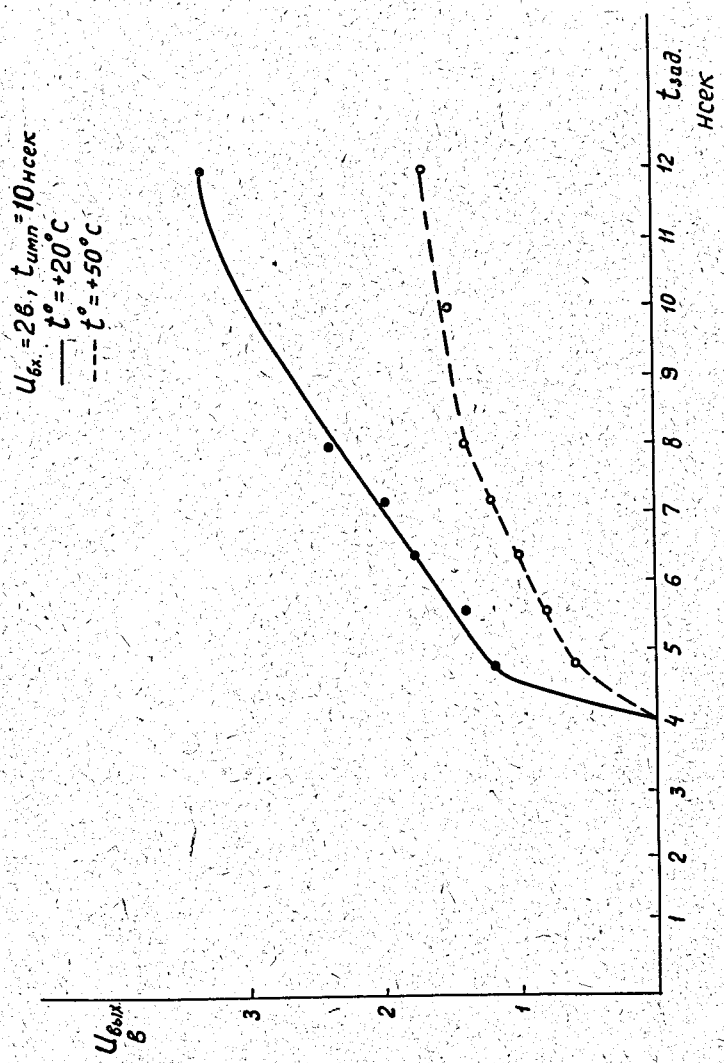


Рис. 5. Кривая задержанных антисовпадений при работе схемы с генератором прямоугольных импульсов для различных температур окружающей среды.

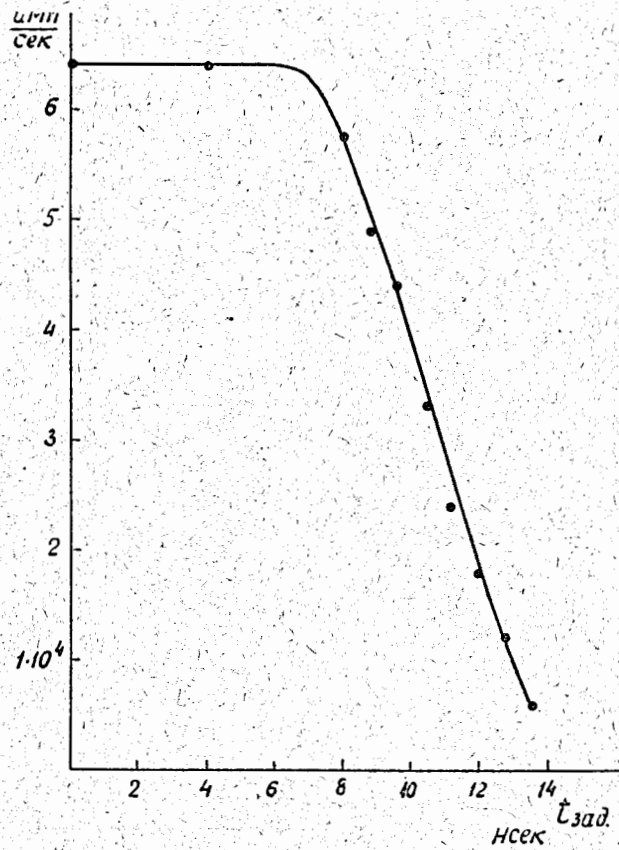


Рис. 6. Кривая задержанных совпадений при работе схемы от α -источника.

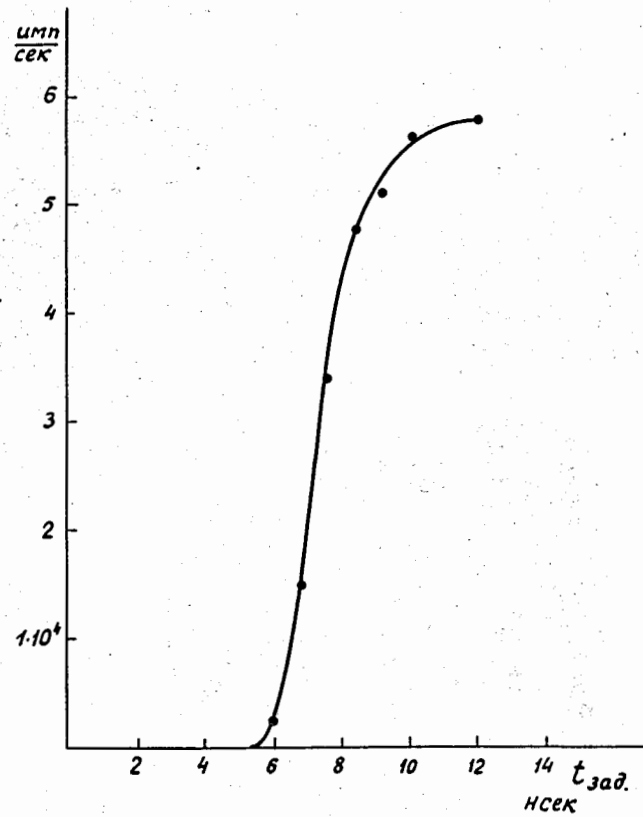


Рис. 7. Кривая задержанных антисовпадений при работе схемы от α -источника.

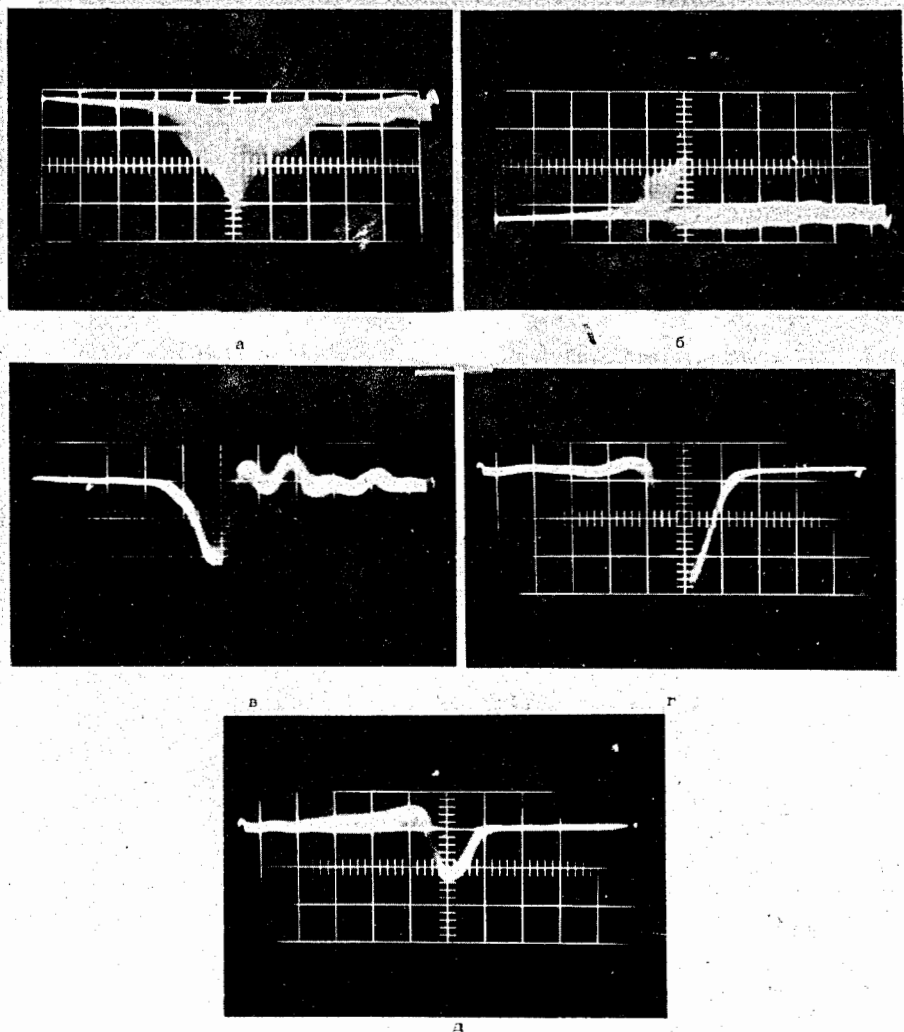


Рис. 8. Осциллограммы сигналов в различных точках схемы при работе с α -источником (калибровка по длительности всюду 7,5 нсек/см)

- а) импульсы с выхода ФЭУ (калибровка по вертикали - 0,4 в/см),
- б) сигналы, сформированные по длительности на коллекторе триода-формирователя (калибровка по вертикали - 0,2 в/см),
- в) сигнал совпадений на туннельном диоде (калибровка - 0,2 в/см),
- г) выходной импульс схемы при совпадениях (калибровка по вертикали 1 в/см),
- д) выходной импульс схемы в случае несовпадений (калибровка по вертикали - 0,2 в/см).