

С 344.35

A-391

6/1 - 66

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2434



ЛЭБОРТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Ю.К. Акимов, А.В. Кушов

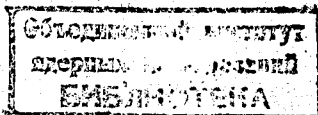
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
СХЕМ СОВПАДЕНИЙ

1965

2434

Ю.К. Акимов, А.В. Кушов

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
СХЕМ СОВПАДЕНИЙ



В настоящее время существует много разных вариантов схем совпадений на полупроводниковых элементах. Ниже приводятся результаты сравнения характеристик различных схем совпадений, полученные в одинаковых условиях.

Поскольку подробное описание каждой схемы заняло бы здесь слишком много места, ниже приводятся лишь основные принципы построения этих схем.

Основными узлами схем совпадений являются: входной формирователь, элемент отбора совпадений-антисовпадений, дискриминатор-формирователь, усилитель.

Во входных формирователях использовались следующие элементы:

1. Параллельно включенный диод (ПД), слабо влияющий на амплитуду малых сигналов и ограничивающий большие сигналы, открывающие этот диод.
2. Последовательно включенный диод (Д), нормально пропускающий небольшой ток и работающий в режиме закрывания входными импульсами (рис. 1а).
3. Амплитудный ограничитель на туннельном диоде (ТД'), нагруженном на малое сопротивление (100 ом), обеспечивающее одно устойчивое состояние на начальной ветви характеристики туннельного диода (рис. 1б).
4. Одновибратор на туннельном диоде (ТД), формирующий импульс как по амплитуде, так и по длительности (рис. 1в).
5. Усилительно-ограничительный каскад дифференциального типа (ДУ) в различных исполнениях (рис. 1г).
6. Транзисторные каскады с общим эмиттером ( $T_э$ ), общей базой ( $T_б$ ), общим коллектором ( $T_к$ ).
7. Формирующие кабели (ФК) или трансформаторы (Тр).

Элементы отбора совпадений-антисовпадений (ЭОС) были составлены из одновибраторов на туннельных диодах (ТД), а также выполнены на обычных параллельно включенных диодах, причем в одной схеме использовалась модифицированная цепь Гарвина, улучшающая подавление несовпавших импульсов (Г).

Структура построения формирователей и ЭОС различных схем показана в таблице 1.

Таблица 1

Авторы	№	Формирователь				ЭОС	Литература	
Омельяненко	1а	Д	ТД			ТД		
Омельяненко	1б	$T_6$	Д	ТД		ТД		
Бушнин, Сенько	1в	Д	ТД	$T_6$		ТД		
Басяладзе	2	$T_k$	ТД	ТД		ТД		2
Колпаков	3	ТД	ТД			ТД		
Будяшов и др.	4	Д	ДУ	ТД		$T_6$	ТД	4
Басяладзе	5	ТД'	ДУ	ФК	ДУ	ТД		2
Будяшов и др.	6	Д	$T_3$	ФК		Д	Г	4
Зеленов и др.	7	ПД	$2T_3$	$T_k$	$T_3$	Д		5
Голутвин и др.	8	$T_6$	$T_k$	$T_3$	$T_p$	ТД'	Д'	1

Схемы 1а, 1б и 8<sup>(1)</sup> были выполнены во многих экземплярах на печатных платах. Монтаж схемы 5<sup>(2)</sup> был также печатным.

Сразу следует подчеркнуть, что при переходе к печатному монтажу в схемах наносекундного диапазона могут возникать соответствующие технические затруднения, связанные в основном с неудовлетворительной "землей" и увеличением емкостей в отдельных точках схемы. Тем не менее печатный монтаж в серийном исполнении схем необходим.

Предварительная проверка большинства схем производилась от пуга импульсов, формировавшегося устройством, блок-схема которого изображена на рис. 2. Импульсы на фотоумножителе возбуждались световым полупроводниковым источником. Фотоумножитель был подключен к высокоомному входу катодного повторителя через отрезок кабеля, длиной которого задавался период пуга импульсов, изменявшийся в пределах  $T = 25 \div 100$  нсек. Число импульсов, экспоненциально убывающих по амплитуде, составляло ~ 50. Импульсы с катодного повторителя подавались на усилитель с полосой пропускания 150 Мгц. Для подавления низкочастотной составляющей в цепь согласованного кабеля была введена емкость 91 пф. С помощью пуга импульсов можно было оценить мертвое время отдельных элементов схем, а также диапазон амплитуд входных импульсов, при котором та или иная схема способна работать.

Прототип схемы 1а был описан в <sup>1/3/</sup>. Схема 1б такая же, как и 1а, только на ее вход добавлен транзистор с общей базой, благодаря чему улучшены чувствительность и ограничение импульсов по амплитуде. Схема начинает работать с  $T = 60$  нсек и

$u_{вх}^{мин} = 0,4$  в. Однако выходной усилитель нормально пропускает всего лишь два импульса (при  $T = 60$  нсек).

Схема 1 в имеет такую же структуру, что и 1 а, если не считать добавления транзистора с общей базой на выход ее формирователя. Однако быстродействие данной схемы существенно повышено ( $T_{мин} = 30 - 40$  нсек) благодаря использованию более быстродействующих диодов и выполнению гальванической связи между всеми элементами.

При построении схемы 2<sup>1/2/</sup> за основу была взята 1а, но с заменой диодного ограничителя на туннельный диод и добавлением эмиттерного повторителя на вход схемы. Инерционность и чувствительность такие же, как и у 1б, но верхний предел амплитуд входных импульсов заметно выше.

Схема 3 состоит только из одновибраторов на ТД, и ее элементы связаны между собой гальванически ( $T_{мин} = 30 \div 40$  нсек,  $u_{вх}^{мин} = 0,4$  в). В схеме 4<sup>1/4/</sup> импульсы формируются диодным ограничителем, дифференциальным усилителем и одновибратором на туннельном диоде. Сложение сигналов осуществляется в эмиттерной цепи транзистора, который присоединен далее к одновибратору на туннельном диоде. Схема работает четко, начиная с  $T = 60$  нсек.

Схема 5 отличается от вышерассмотренных тем, что формирование импульса по длительности осуществляется в ней не одновибратором на туннельном диоде, а короткозамкнутым отрезком кабеля (1м РК-150 - в канале совпадений, 1,5 м - в канале анти-совпадений). Это позволяет уменьшить мертвое время формирования до ~ 25 нсек. По амплитуде импульсы формируются туннельным диодом, нагруженным на волновое сопротивление кабеля, и двумя дифференциальными усилителями. ЭОС - одновибратор на ТД с мертвым временем 40 нсек;  $u_{вх}^{мин} = 0,3$  в.

В схеме 6<sup>1/4/</sup> импульсы формируются последовательным диодным ограничителем, подключенным к базе транзистора, в коллекторе которого поставлен, как и в 5, короткозамкнутый отрезок кабеля. Совпадения отбираются с помощью обычной диодной схемы с использованием усовершенствованной цепи Гарвина. Схемы 7 и 8 подробно описаны в <sup>1/1/</sup> и <sup>1/5/</sup> соответственно.

На пучках ускорителя измерялась зависимость скорости счета от напряжения на фотоумножителях, уровня дискриминации совпавших импульсов, а также кривые задержанных совпадений и антисовпадений. Телескоп был составлен из четырех пластических сцинтилляторов размером 100 x 100 x 10 мм (в каналах совпадений) и 150x150x10 мм (в канале антисовпадений). Счетчик антисовпадений располагался вторым, чтобы в него заведомо попадали все частицы, прошедшие через телескоп. Использовались фотоумножители ФЭУ-30, имевшие почти одинаковый коэффициент усиления при одних и тех же значениях напряжения питания.

Измерения производились на пучках различной интенсивности. Регистрируемые частицы давали ионизацию, близкую к минимальной. Результаты измерений приведены на

рис. 3 ÷ 7 и в таблице 2. На рис. 3 приведена зависимость скорости счета (ненормированного) от напряжения на фотоумножителях при умеренных интенсивностях пучков. Стрелками указано то верхнее значение напряжения питания, начиная с которого возникает счет несовпавших импульсов, так называемое "пролезание". Схема 16 имеет плато около 200 в, остальные схемы - в 2-3 раза выше. Другие измерения показали, что схема 1а имеет плато = 150 в и в три раза меньшую чувствительность, чем 1б. Плато схемы 2 составляло около 600 в. Однако в данной схеме не был сделан канал антисовпадений, и по этой причине она дальше не исследовалась.

Следующий рис. 4 иллюстрирует, как изменяются счетные характеристики (нормированные), когда существенно повышена интенсивность ( $2,5 \cdot 10^5$  1/сек на выходе схемы совпадений и  $3,5 \cdot 10^5$  1/сек на выходе каждого канала при скважности ускорителя  $P = 15$ ). Видно, что при указанной интенсивности работоспособны лишь схемы 5, 4 и 1в, в которых элементы связаны между собой гальванически, а если есть емкости, то в их разрядных цепях поставлены сравнительно малые сопротивления. Сказанное не относится к схеме 3, в которой неполный счет был обусловлен не инерционностью, а неполной эффективностью тройных совпадений, что следовало из кривой задержанных совпадений. Счет двойных совпадений в этой схеме достигал необходимого максимума. Данная схема отличается хорошим разрешением (см. табл. 2), однако имеются определенные трудности в надежном отборе совпадений, если диапазон амплитуд входных импульсов велик.

Из рис. 4 видно также, как в схемах 6, 7 и 8 (ЭОС на диодах), сильно ухудшалась чувствительность с увеличением загрузки. Для сравнения на рис. 4 и 5 представлена зависимость счета импульсов от порога дискриминации в ЭОС двух схем - 5 и 8. При умеренной интенсивности характеристики обеих схем имеют хорошее плато, однако, когда интенсивность сильно повышена, в схеме 8 плато исчезает, а в 5 - сохраняется. Такие же характеристики измерялись в схемах 1в и 7. При большой интенсивности 1в имела полную эффективность счета только у самой границы пролезания. Счет схемы 7 резко зависел от порога дискриминации. В остальных схемах дискриминационные характеристики не снимались, поскольку их конструкция в этом отношении была неудобной.

Схемы 16, 4 и 5 исследовались и в таких условиях, когда большая загрузка давалась лишь по одному из каналов ( $5 \div 6 \cdot 10^5$  1/сек), а число совпадений составляло  $2 \cdot 10^4$  1/сек. Результаты этих испытаний приведены на рис. 7. Наименьшие просчеты наблюдались в схеме 5 (= 15%).

Исследование схем антисовпадений проводилось также на пучках разной интенсивности, поскольку эффективность антисовпадений существенно зависит от загрузки канала антисовпадений. В таблице 2 приведен коэффициент  $K_a$ , показывающий, во сколько раз уменьшается счет телескопа, если включить счетчик антисовпадений. Следует

отметить, что условия измерения на различных пучках в той или иной мере отличались друг от друга, поэтому приведенные данные могут претендовать только на оценочный характер.

В таблице 2 мы попытались обобщить результаты всех наших испытаний схем трехкратных совпадений с одним каналом антисовпадений. Таблица содержит следующие сведения. В колонке 2 указана та максимальная загрузка на канал, при которой потери в эффективности схемы совпадений, обусловленные ее мертвым временем, еще сравнительно невелики, порядка 10% или меньше. В третьей колонке слева указаны значения разрешающего времени при максимальной загрузке, справа - в случае умеренной. То же относится и к 4-й колонке, где приведено минимальное разрешающее время  $\tau_{\text{мин}}$  при котором эффективность регистрации еще близка к единице. В колонке 5 приведена чувствительность схем; в тех случаях, где не было прямых измерений, значение  $U_{\text{вх}}$  оценивалось путем сравнения счетных характеристик. Коэффициент антисовпадений  $K_a$  дан в колонках 6 и 7. В таблице встречаются еще следующие обозначения:  $P$  - скважность ускорителя,  $N_{\text{вх}}$  - загрузка по каналу,  $N_{\text{вых}}$  - счет на выходе схемы совпадений.

Данные, приведенные в таблице, не претендуют, конечно, на абсолютную строгость, но тем не менее вместе с замечаниями по схемам, содержащимися в тексте, они позволяют провести соответствующее сравнение характеристик различных схем. Для работы в условиях максимальных нагрузок при удовлетворительном разрешающем времени  $\tau = 5 \div 10$  нсек наиболее подходящей является схема 5<sup>2/2</sup>. Относительно малая инерционность этой схемы объясняется наличием гальванической связи между элементами и тем, что в ее формирователях нет элементов с существенной инерционностью, таких, в частности, как одновибраторы на туннельных диодах.

В заключение считаем своим долгом выразить глубокую благодарность авторам вышерассмотренных схем совпадений, любезно предоставившим эти схемы на исследование, С.Г. Басиладзе, Ю.Г. Будяшову, Ю.Б. Бушнину, И.А. Голутвину, А.Ф. Дунайцеву, Ю.В. Заневскому, Б.А. Зеленову, В.С. Зинову, И.Ф. Колпакову, Л.К. Лебедевой, И. Манца, Н.С. Мороз, А.Г. Морозову, М.Н. Омеляненко, В.А. Сенюк. Мы также благодарны Л.Л. Неменову, В.Ф. Борейко, В.Г. Гребиннику, Л.С. Золину и Б.С. Краснобородову за большую помощь при измерениях.

#### Л и т е р а т у р а

1. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский. Препринт ОИЯИ, 1424, Дубна, 1963.
2. С.Г. Басиладзе. Препринт ОИЯИ, 2339, Дубна, 1965.
3. А.Ф. Дунайцев. Препринт ОИЯИ, Р-1437, 1963.
4. Ю. Будяшов, В.С. Зинов, А.Г. Морозов. Препринт ОИЯИ, 2430, Дубна, 1965.
5. Б.А. Зеленов, Л.К. Лебедев, И. Манца, Н.С. Мороз. Препринт ОИЯИ, 2189, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел 16 ноября 1965 г.

Таблица 2

1	2	3	4	5	6		7			
					$r_{\text{мин}}$ (нсек)	$r_{\text{мин}}$ (нсек)	$t_{\text{мин}}$ (н)	АНТИСОВПАДЕНИЯ		
№ схемы	$N_{\text{макс}}$ при $P = 15$	$r$ (нсек) (при измерениях)	$r_{\text{мин}}$ (нсек)	$t_{\text{мин}}$ (н)	$N_{\text{вх}}$	$N_{\text{вых}}$	$N_{\text{вх}}$	$P$	$K_n$	$r_n$
1a	$10^5$	4	2,5	~1,2						
1б	$10^5$	4	2,5	0,4	2,3	7				
1в	$3 \cdot 10^5$	4,5	3	1,2	12	3,5				
2	$10^5$	3	2,5	0,4	16	2,5				
3	$3 \cdot 10^5$	3	3	0,4	17	3				
4	$3 \cdot 10^5$	7	4	~0,2	30	9	$5 \cdot 10^4$	15	29	10
5	$4 \cdot 10^5$	8,5	4,5	0,3			$8 \cdot 10^3$ $5 \cdot 10^4$	15	311 47	
6	$10^5$	11	6	~0,6			$1,2 \cdot 10^5$	15	37	7
7	$10^5$	5	2	~0,1			$1,2 \cdot 10^5$	4,5	400	
8	$10^5$	8	4,5	~0,3			$3 \cdot 10^4$ $2,3 \cdot 10^4$	4,5	1000	11

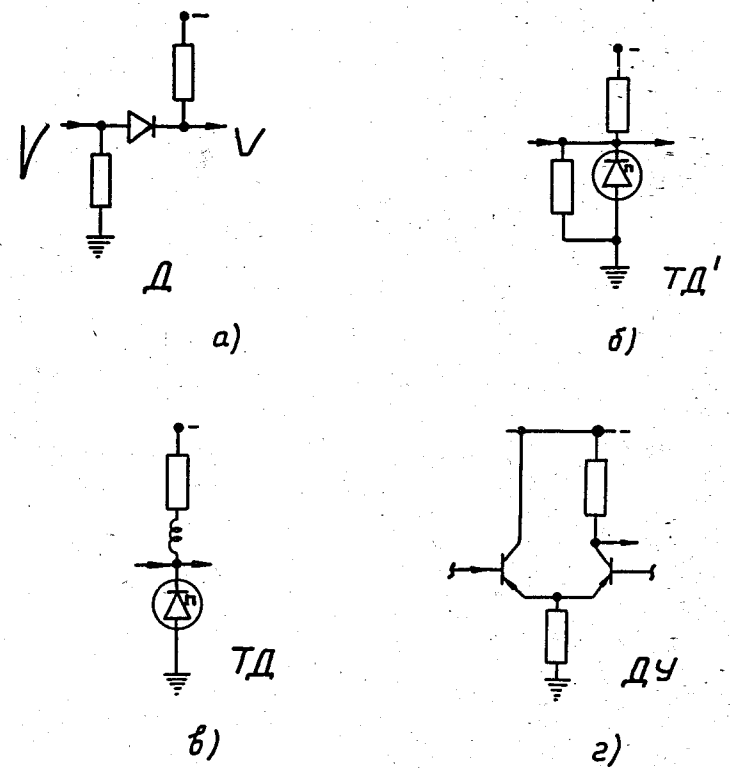


Рис. 1. Основные элементы схем совпадений.

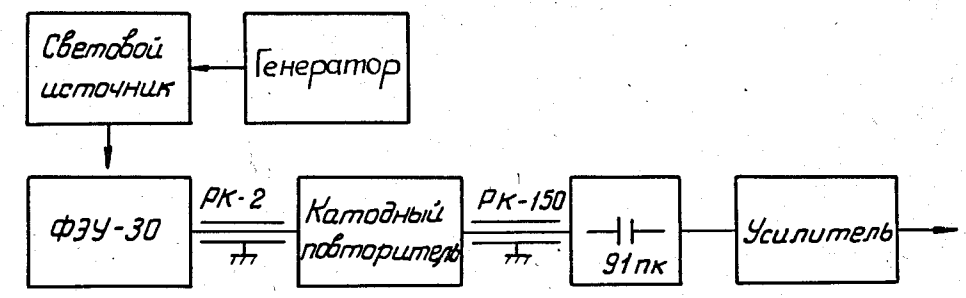


Рис. 2. Генератор пуга импульсов.

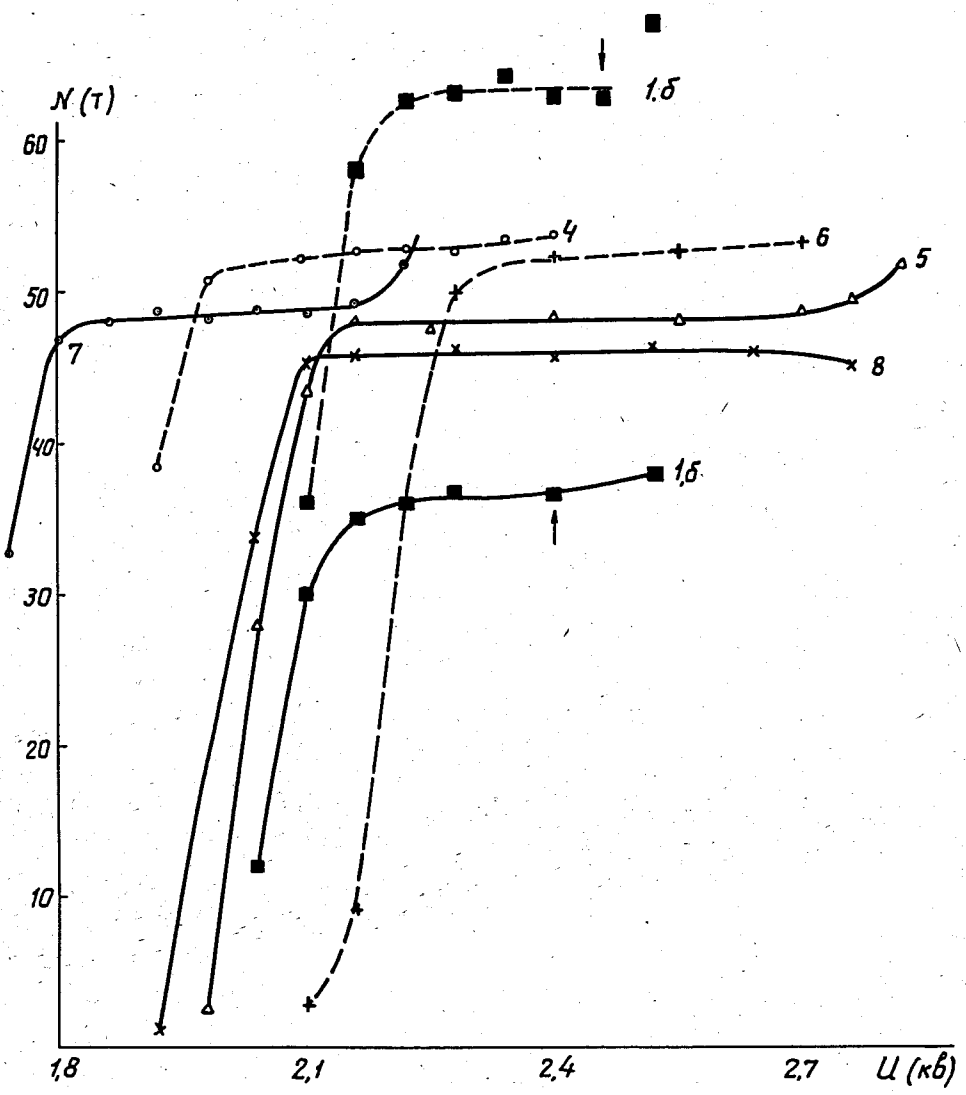


Рис. 3. Зависимость скорости счета телескопа от напряжения питания на фотоумножителях. 1) Сплошные кривые:  $P = 4,5$ ;  $N_{вх} = 8 \cdot 10^4$ ,  $N_{вых} = 3 \cdot 10^4$  для 1.5, 5 и 7;  $N_{вх} = 6 \cdot 10^4$ ,  $N_{вых} = 2,3 \cdot 10^4$  для 8. 2) Пунктирные кривые:  $P = 15$ ,  $N_{вх} = 1,2 \cdot 10^5$ ,  $N_{вых} = 5 \cdot 10^4$ .

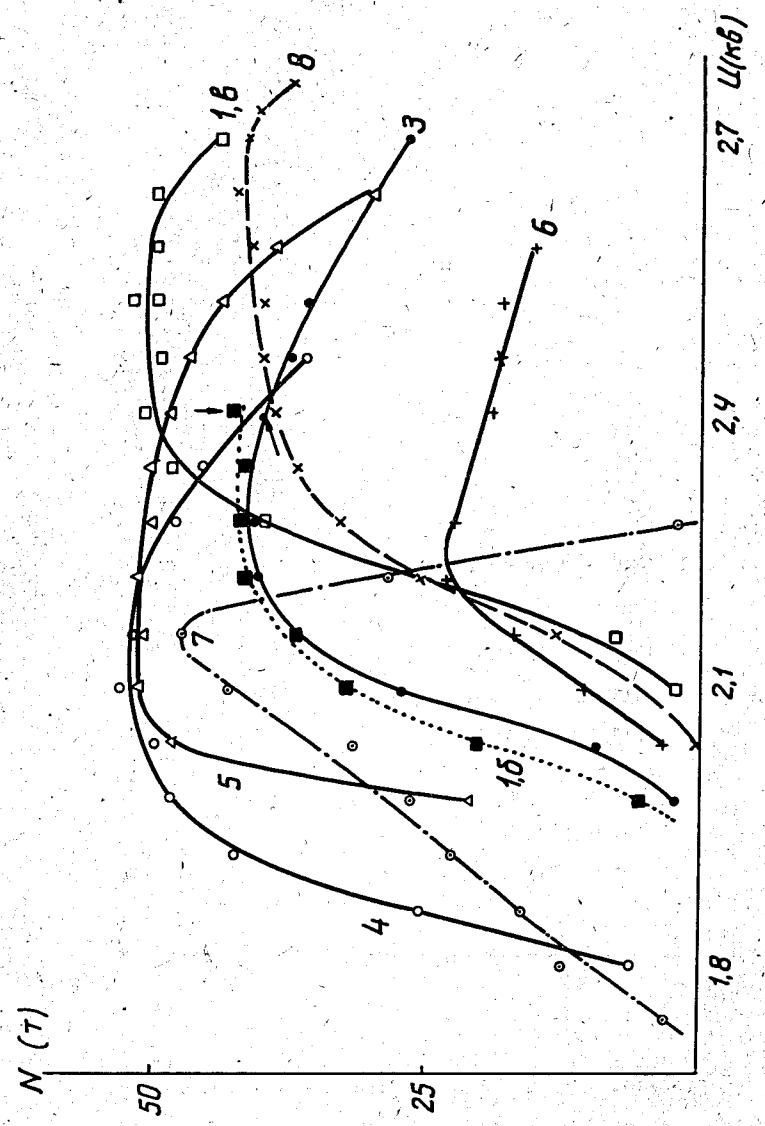


Рис. 4. Зависимость скорости счета от напряжения питания на фотоумножителях при  $N_{вх} = 3,5 \cdot 10^4$ ,  $N_{вых} = 2,5 \cdot 10^4$  и  $P = 15$ .

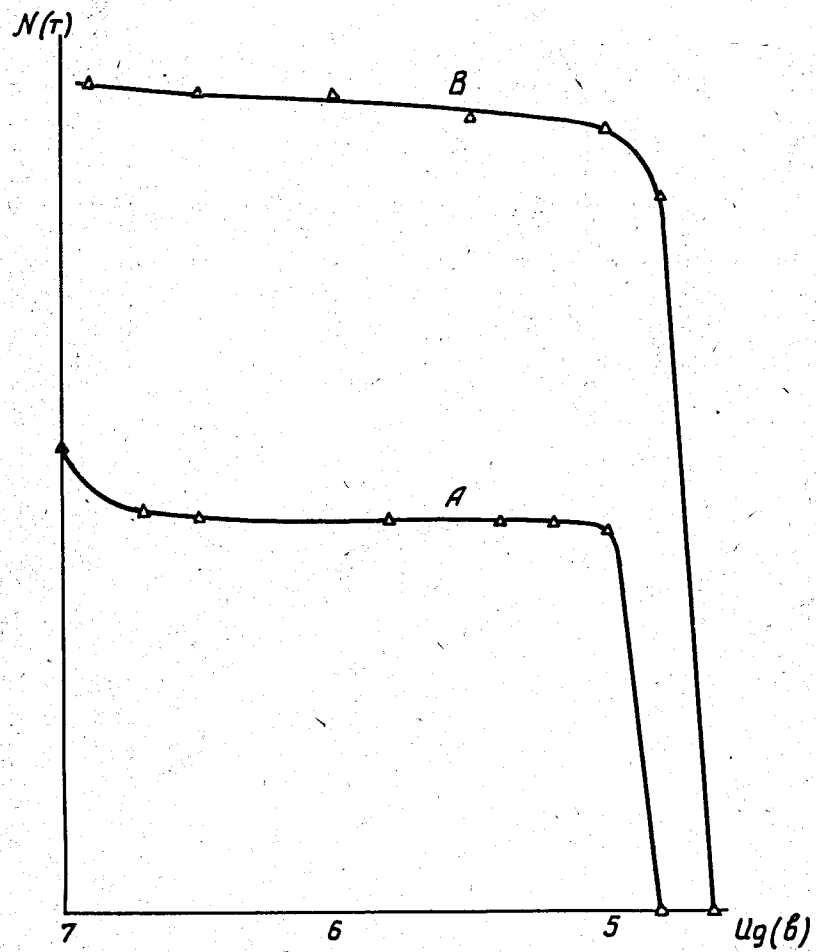


Рис. 5. Зависимость скорости счета от порога дискриминации в схеме 5: А - условия, соответствующие рис. 3; В - условия, соответствующие рис. 4.

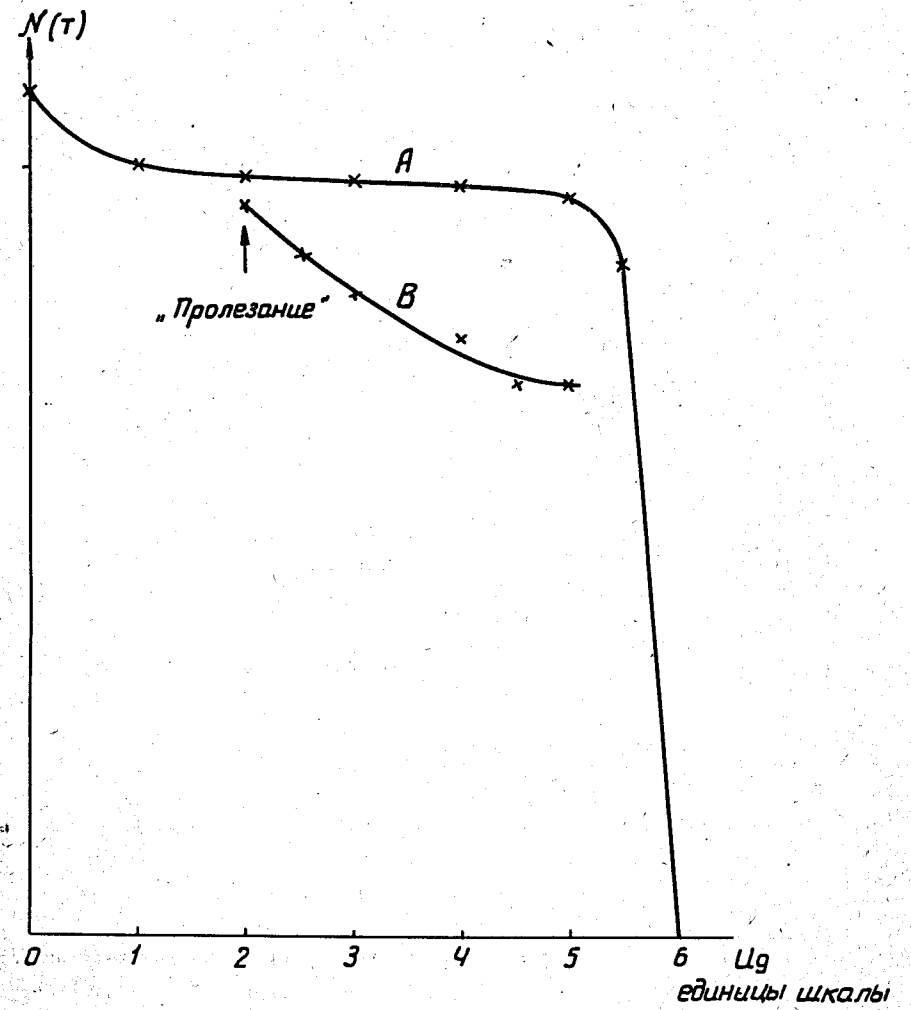


Рис. 6. Зависимость скорости счета от порога дискриминации в схеме 8 :  
 . А - условия, соответствующие рис. 3; В - условия, соответствующие рис. 4.



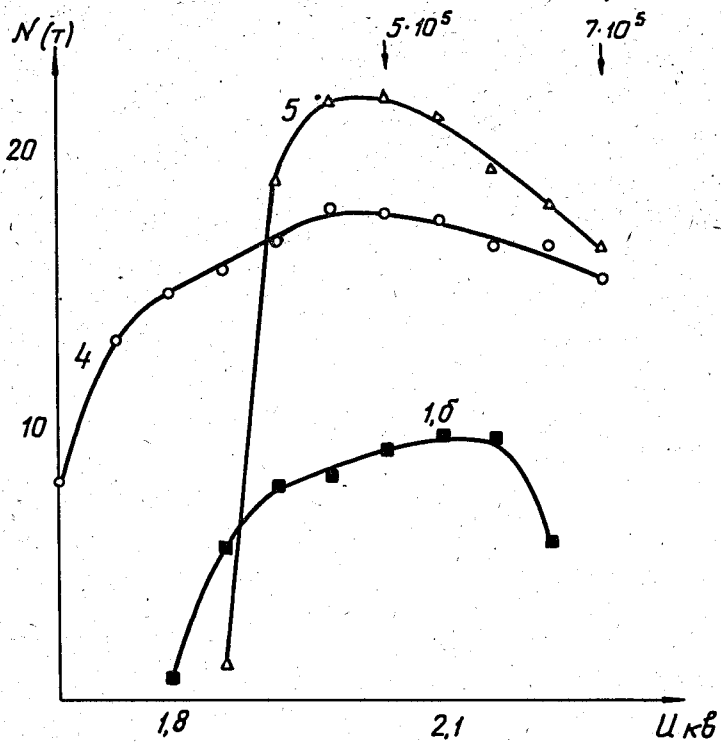


Рис. 7. Зависимость скорости счета от напряжения питания на фотоумножителях. Только по одному из каналов  $N_{\text{вх}} = 5-6 \cdot 10^5$  1/сек;  $N_{\text{вых}} = 2 \cdot 10^4$ ;  $P = 15$ .