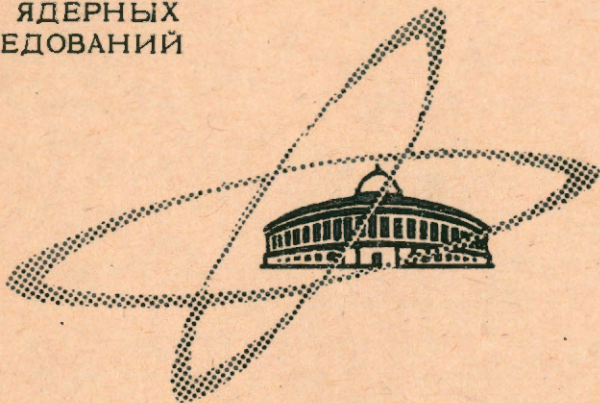


ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2778



И.Ф. Колпаков

ЛИНЕЙНЫЕ "ВОРОТА" В НАНОСЕКУНДНОМ  
ДИАПАЗОНЕ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

2778

И.Ф. Коллаков

ЛИНЕЙНЫЕ "ВОРОТА" В НАНОСЕКУНДНОМ  
ДИАПАЗОНЕ

Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ

Линейные схемы пропускания - "ворота" - необходимы в тех случаях, когда требуется разрешить или запретить поступление сигналов на вход спектрометрического устройства в течение некоторого времени, не изменяя при этом существенно вида самих сигналов. Описываемая схема предназначена в основном для работы с быстрыми спинтилляционными счетчиками.

По принципу действия известные наносекундные линейные схемы пропускания представляют собой либо параллельный ключ <sup>/1/</sup> (рис. 1а), либо последовательный <sup>/2-3/</sup> (рис. 1б), куда относятся также мостовые диодные схемы, или же комбинированные <sup>/6-9/</sup> (рис. 1в), параллельно-последовательный.

В дополнение к обычным характеристикам качество линейных ворот определяется такими параметрами, как коэффициент передачи входного напряжения на выход при работе в режиме пропускания и его линейность, коэффициент передачи в режиме запрета, или так называемое "пролезание" входного сигнала на выход схемы, и коэффициент передачи сигнала управления на выход схемы, носящий также название "пьедестала".

Можно вышеперечисленные схемы "ворот" подразделить также по типу элементов и полупроводниковых приборов, используемых для построения ключей, на параллельные диодные <sup>/1/</sup>, последовательные диодно-трансформаторные балансные <sup>/2-4/</sup>, последовательные диодно-мостовые <sup>/5/</sup>, параллельно-последовательные диодно-транзисторные <sup>/6/</sup> и параллельно-последовательные транзисторные <sup>/7-9/</sup>.

Чисто диодные схемы пропускания в наносекундном диапазоне требуют диодов с малыми емкостью перехода (порядка единиц пикофарад) и динамическим сопротивлением в прямом направлении, с временем восстановления и установления менее наносекунды. В настоящее время не существует отечественных диодов, удовлетворяющих полностью требованиям наносекундных диодных схем пропускания. Надо отметить также, что последовательная диодная схема передает импульсы с амплитудой только более 0,4 в.

Недостатком диодных балансных и мостовых схем является необходимость подбора диодов, кроме того в балансных схемах возникает задача выполнения наносекундного трансформатора.

Применение насыщенного транзистора в качестве параллельного ключа в наносе-

кундном диапазоне затруднено ввиду существования эффекта накопления заряда.

Использование одиночного транзистора в качестве последовательного ключа (рис. 2) имеет ограниченные возможности. Динамический диапазон амплитуд входных импульсов лимитируется здесь сверху допустимым обратным напряжением перехода эмиттер-база и для высокочастотных транзисторов не превышает нескольких вольт. Наличие емкости перехода база-коллектор и внутреннего распределенного сопротивления базы приводит к "пролезанию" фронтов импульсов управления и входного на выход схемы.

Описываемая схема представляет собой параллельно-последовательные "ворота" на транзисторах <sup>17/</sup>, показанные в упрощенном виде на рис. 3. В параллельно-последовательной транзисторной схеме пропускания входной импульс передается через ключевой транзистор, а управляется этот ключевой транзистор транзистором, включенным параллельно. Входной импульс отрицательной полярности поступает через согласующий транзистор  $T_1$  в эмиттер нормального открытого управляющего транзистора  $T_3$ . Транзистор  $T_1$  также предотвращает появление на входе схемы импульса управления, поступающего на транзистор  $T_3$ . При подаче в базу транзистора  $T_3$  отрицательного импульса управления он закрывается. Тогда транзистор  $T_2$  оказывается открытым и способным к пропусканию на выход входного импульса. С помощью потенциометра режим транзистора  $T_2$  выбирается так, чтобы при поступлении управляющего импульса он оказывался лишь слегка приоткрытым и "пьедестал" был минимальным. Входное сопротивление транзистора  $T_2$  для фронтов коротких импульсов оказывается довольно большим, и на его эмиттере выделяются импульсы напряжения при подаче входного импульса. Чтобы эти импульсы не открывали закрытого в режиме пропускания транзистора  $T_3$ , управляющее напряжение приходится выбирать достаточной величины (8 в). Для уменьшения емкостного "пролезания" фронтов входного импульса и импульса управления в эмиттеры транзисторов  $T_2$  и  $T_3$  включены последовательно диоды  $D_3$  и  $D_4$  (рис. 4). Когда транзистор не проводит, соответствующий диод также закрыт, и последовательно с емкостями переходов эмиттер-база и база-коллектор оказывается включенной емкость диода, значительно меньшая, чем емкости транзистора (выбираются диоды с емкостью порядка 1 пф).

В зависимости от положения тумблера  $K_1$  импульс либо сразу передается на вход 1, либо интегрируется и через усилитель с отрицательной обратной связью (транзисторы  $T_6, T_7$ ), затянута до 3 мксек, поступает на выход 2 в удобном для амплитудного анализа виде.

В схеме имеется формирователь импульсов управления для работы в режиме пропускания. Отрицательный импульс управления поступает на формирователь через согласующий транзистор  $T_5$ . На рис. 5 показан в упрощенном виде инвертер <sup>10/</sup>, используемый в схеме. В исходном состоянии туннельные диоды  $ТД_1$  и  $ТД_2$  смещены в область

на туннельном участке характеристики (падение напряжения на них составляет 50 мв). Падение напряжения на обращенном диоде  $ОД_1$  близко к 0 в, а он, как известно, в этой области напряжения не проводит. При поступлении входного отрицательного импульса тока с амплитудой более 0,3 в туннельный диод  $ТД_1$  переключается на диффузионную ветвь характеристики, и падение напряжения на нем становится равным 0,9 в. Потенциал в точке, связанной с обращенным диодом, остается близким к 0 в, хотя и обращенный диод теперь проводит, будучи смещенным на обратную туннельную ветвь, поэтому потенциал в точке, общей для туннельных диодов, нарастает, что приводит к переключению также и второго туннельного диода  $ТД_2$ . Схема одновременно является и формирователем по амплитуде и длительности, для чего туннельный диод  $ТД_2$  включен в схему одновибратора с индуктивностью. Для правильной работы инвертера важно, чтобы обращенный диод  $ОД_1$  имел небольшое падение напряжения при смещении на туннельную ветвь в обратном направлении (этим требованиям удовлетворяют диоды на р-германий) и сопротивление нагрузки одновибратора было несколько меньше, чем обычно. Надо отметить, что схему можно запускать и положительными импульсами.

Импульс с инвертера, имеющий амплитуду 1 в и длительность  $\approx 10$  нсек по основанию, переключает туннельный диод  $ТД_3$ , представляющий собой триггер с задержанной обратной связью. В исходном состоянии он смещен на туннельную ветвь и транзистор  $T_4$  закрыт. Когда диод  $ТД_3$  переключается на диффузионную ветвь, транзистор  $T_4$  открывается почти до насыщения, и с его коллектора снимается отрицательный импульс управления с требуемой амплитудой 8 в. Длительность импульса управления задается внешней переменной линией задержки  $ЛЗ_2$ , по которой отрицательный перепад напряжения коллектора триода  $T_4$  поступает через согласующий транзистор  $T_8$  на туннельный диод  $ТД_3$  и возвращает его в исходное состояние. Схема с линией задержки обеспечивает точное формирование управляющего импульса по длительности и обладает минимальным мертвым временем, что важно при работе "ворот" в условиях больших загрузок по частоте следования управляющих импульсов. Минимальная длительность импульса в эмиттере транзистора  $T_4$  ( $\approx 20$  нсек) определяется фронтами этого импульса, которые равны  $\approx 8$  нсек. Она достигается при величине внешней задержки 12 нсек. Для компенсации внутренних задержек в схеме на вход основного импульса введена задержка 23 нсек ( $ЛЗ_1$ ). "Ворота" могут управляться также сформированным по длительности внешним положительным импульсом управления с амплитудой более 1,2 в. Этот внешний импульс управления подается на один из разъемов, используемых в режиме с внутренним формирователем для подключения формирующей линии задержки, поступает на вход согласующего транзистора  $T_8$  и отсюда - прямо на триггер на туннельном диоде  $ТД_3$ .

Схема может быть также использована в режиме запрета. Для этого тумблером  $K_2$  туннельный диод переключается на диффузионную ветвь (положение "запрет"), так

что "ворота" оказываются нормально открытыми. При подаче в эмиттер транзистора  $T_8$  отрицательного импульса с амплитудой более 1,2 в "ворота" закрываются на время длительности этого импульса.

В схеме использовались туннельные диоды ЗИЗОГ, германиевые меза-транзисторы с граничной частотой  $\approx 800$  МГц, германиевый диффузионный транзистор с граничной частотой  $\approx 700$  МГц ( $T_8$ ), германиевые микропоскожные импульсные диоды ( $D_2, D_7, D_{10}$ ), кремниевые импульсные диоды с временем восстановления  $\approx 10$  нсек ( $D_1, D_5, D_6, D_9$ ). Диоды  $D_3, D_4$  - импульсные кремниевые с временем восстановления  $\approx 1$  нсек либо аналогичные германиевые.

"Ворота" проверялись от ртутного генератора, который выдавал входные импульсы с длительностью 10 нсек с фронтами  $\approx 1$  нсек. Входные сигналы поступали на выход 1 с коэффициентом передачи  $\approx 0,9$  в диапазоне от 0,1 до 8 в, причем длительность их и фронты сохранялись, что позволяет использовать схему также для временных измерений. С выхода 2 снимается импульс со спадающей вершиной, длительностью 3 мксек. Этот выход использовался для проверки линейности коэффициента передачи (в дальнейшем, для краткости, просто "линейности") схемы на 256-канальном амплитудном анализаторе. Полученные зависимости для окружающей температуры  $+20^\circ\text{C}$  и их сдвиг при повышении температуры до  $+50^\circ\text{C}$  показаны в диапазоне амплитуд 0,5-2 в на рис. 6а и в диапазоне 1,3-9,9 в на рис. 6б. Интегральная нелинейность в диапазоне амплитуд входных импульсов от 0,5 до 7,5 в не превышает  $\pm 1\%$ . При амплитудах менее 0,5 в точные измерения не проводились, хотя по осциллографу линейность сохраняется и при 0,1 в. Температурный сдвиг также укладывается в эти пределы. Следует отметить, что в качестве временных "ворота" можно использовать в диапазоне амплитуд от 0,1 в до 10 в.

На вход управления могут подаваться импульсы с амплитудой от 0,3 до 30 в.

"Пьедестал" изменяется линейно (рис. 7) от 20 мв при амплитуде импульса управления 1 в до 50 мв при 12 в. "Пролетание" до амплитуд входных импульсов 5 в составляет менее 0,1% и остается в допустимых пределах до амплитуд  $\approx 8$  в.

"Мертвое" время "ворота" проверялось по выходу 1 от генератора "пачек" импульсов с частотой импульсов в "пачке" 20 МГц и числом их до 35 и составляет по этим измерениям 40 нсек. С большими нагрузками схема не проверялась, хотя, по-видимому, предельная частота в 1,5 раза выше, что обеспечивается выполнением схемы в основном со связями по постоянному току.

Максимальная потребляемая мощность составляет  $\approx 3$  вт. "Ворота" выполнены в виде стандартного блока с размерами по передней панели 120 x 8 мм.

Схема успешно применялась в экспериментах на синхротроне ОИЯИ в качестве временных "ворота".

В заключение автор пользуется случаем, чтобы выразить благодарность Ю.К. Акимову за интерес к работе, Б.С. Красноборолову, выполнившему монтаж схемы и участвовавшему в наладке и снятии характеристик схемы, В.Г. Зинову за полезные обсуждения, Ю.Р. Носову, представившему образцы быстродействующих диодов.

#### Л и т е р а т у р а

1. E.L.Garwin. Rev.Sci.Instr., 30, No. 5, 373 (1959).
2. G.B.Chaplin and A.J.Cole. Nucl.Instr. and Meth., 7, No. 1, 45 (1960).
3. F.P. G.Valckx and A.Dynamus. Nucl.Instr. and Meth., 7, No 2, 197 (1960).
4. Б.Г. Басова. Труды шестой научно-технической конференции по ядерной электронике. Под ред. К.Э. Эрглиса, т.1, Атомиздат, М., 152-157, 1964.
5. K.B.Keller. Rev.Sci.Instr., 35, No. 10, 1360 (1964).
6. M.Coli and A.Serra. Nucl.Electronics. Paris Conf. Proc., III, 731 (1963).
7. H.Verweij. On two fast tunnel diode monostable multivibrator circuits and a fast linear transmission gate. Nuclear Electronics, IAEA, Vienna, pp. 723-730 (1963).
8. A.Barna and J.H.Marschall. Rev.Sci.Instr., 35, No. 7, 881-885 (1964).
9. E.Elad and S.Rozen. Nucl. Instr. and Meth., 37, No 1, 58-60 (1965).
10. H.Verweij. A tunnel diode cascade circuit. Nucl.Instr. and Meth., 37, No 2, 309 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 июня 1966 г.

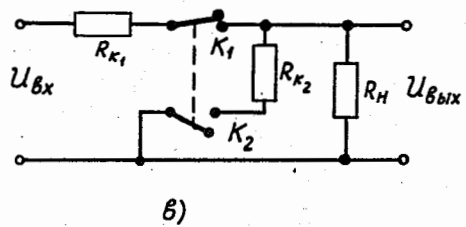
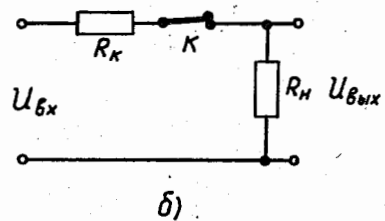
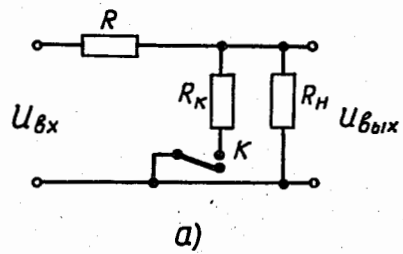


Рис. 1. Представление различных вариантов схем пропускания в виде ключей:  
 а) параллельного, б) последовательного, в) параллельно-последовательного.  
 $R_K, R_{K_1}, R_{K_2}$  — последовательное сопротивление ключа,  $R_H$  — последовательное сопротивление,  $R$  — сопротивление нагрузки.

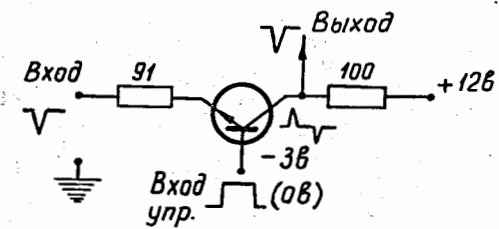


Рис. 2. Последовательная схема пропускания на транзисторе.

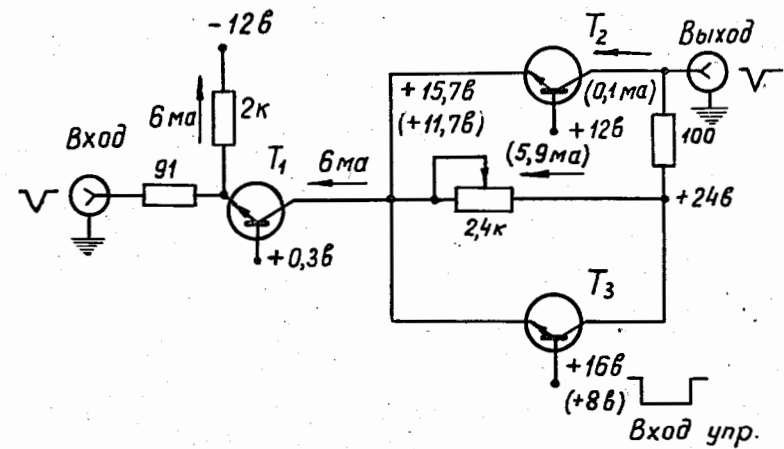


Рис. 3. Упрощенная параллельно-последовательная транзисторная схема пропускания.

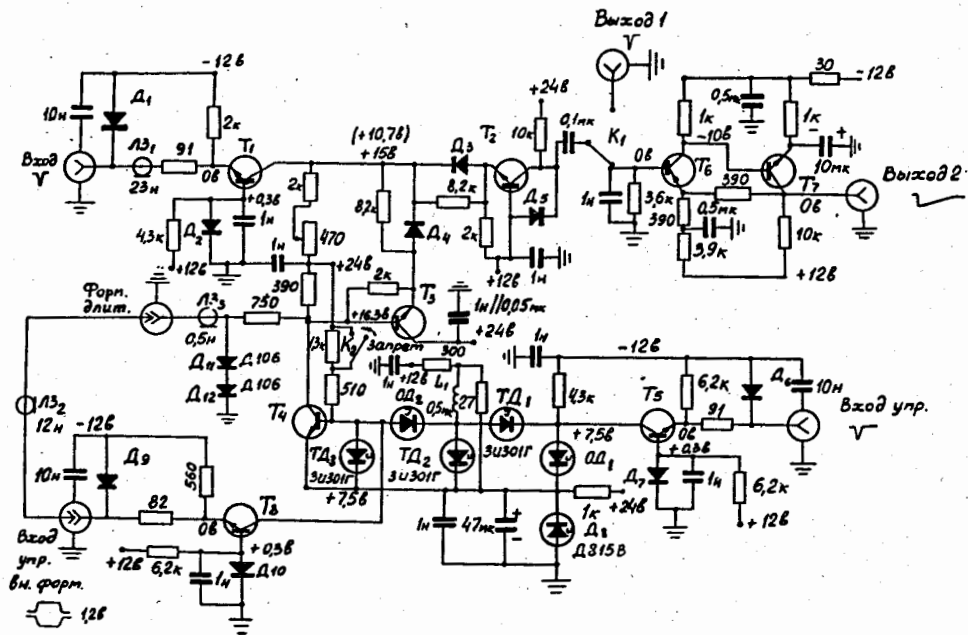


Рис. 4. Принципиальная схема.

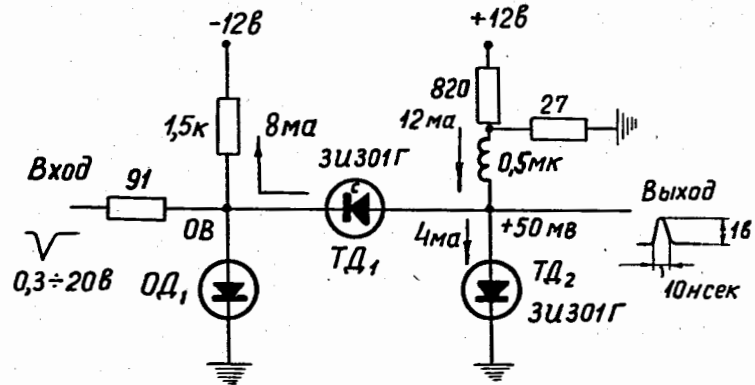


Рис. 5. Упрощенная схема инвертера на туннельных и обращенных диодах.

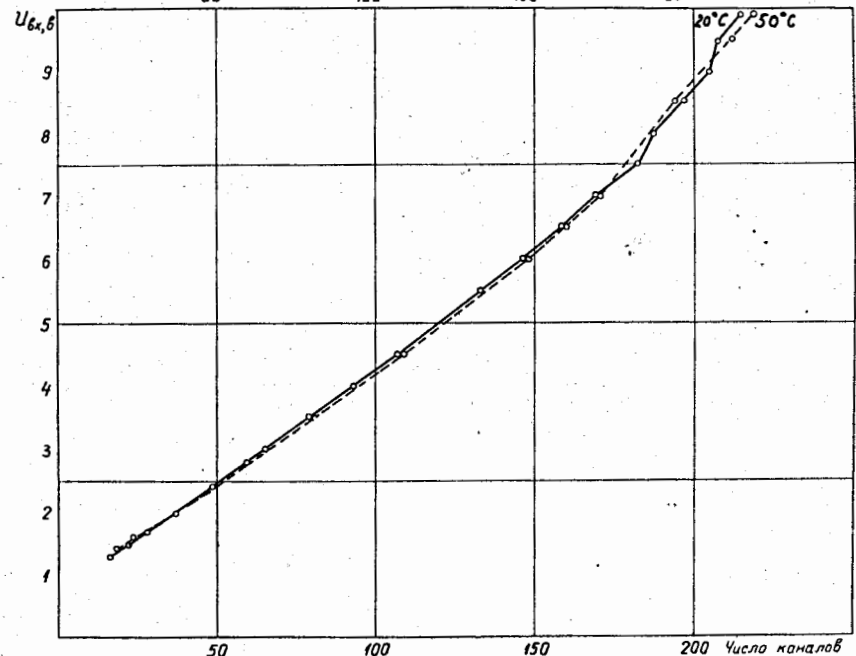
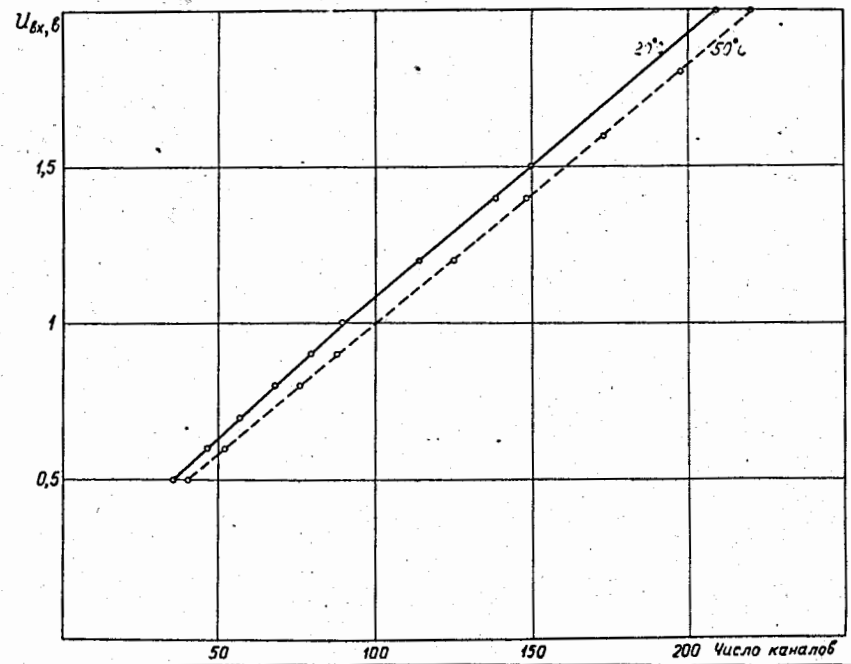


Рис. 6. Кривые линейности "ворот" в диапазоне амплитуд входных импульсов: а) 0,5 - 2 в, б) 1,3 - 8,9 в, —  $t = +20^{\circ}\text{C}$ , - - -  $t = +50^{\circ}\text{C}$ .



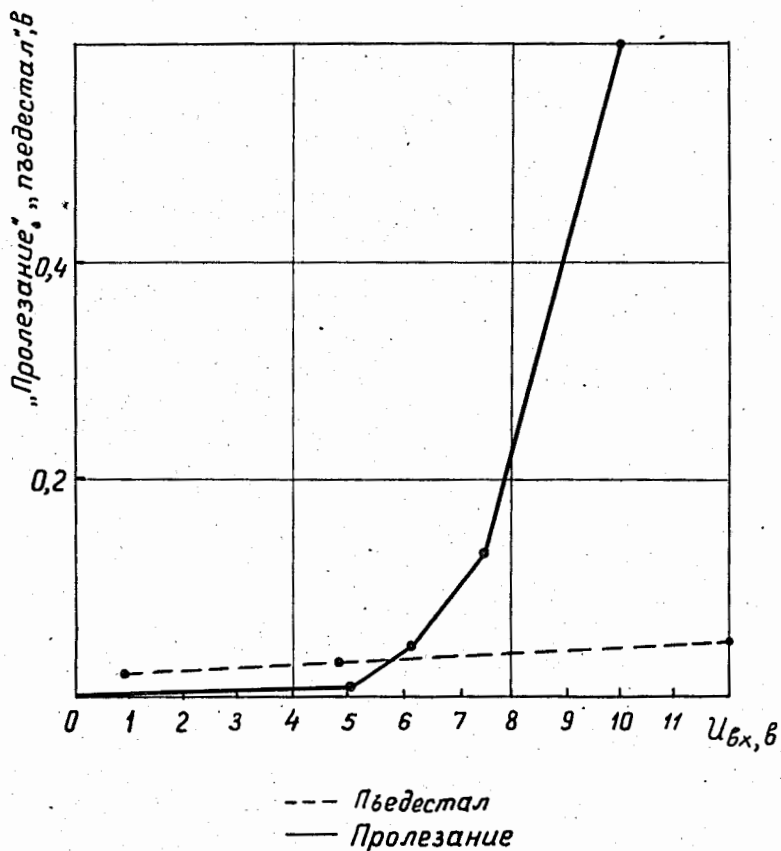


Рис. 7. Зависимость "пьедестала" от амплитуды импульсов управления и "пролезания" от амплитуды входных импульсов: — "пролезание", --- "пьедестал".