

0344.3a
К-615

21/vii-6

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 4439



И.Ф.Колпаков, Л.А.Урманова

ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИМПУЛЬСНЫХ ДИОДОВ НАНОСЕКУНДНОГО
ДИАПАЗОНА

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1969

13 - 4439

И.Ф.Колпаков, Л.А.Урманова

ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ИМПУЛЬСНЫХ ДИОДОВ НАНОСЕКУНДНОГО
ДИАПАЗОНА

4888/2 пр.

В схемах наносекундной электронной аппаратуры для физических исследований быстродействующие импульсные диоды используются как ограничители, формирователи и ключи. Все варианты диодных схем можно подразделить на последовательный и параллельный формирователи. Зная характеристики этих формирователей, нетрудно сделать заключение о характеристиках схем, представляющих их комбинации (ключи и т.д.). Как известно, импульсные характеристики диодов в наносекундном диапазоне сильно отличаются от их статических характеристик и пока не рассчитываются, поэтому необходимо экспериментальное определение переходных характеристик современных быстродействующих импульсных диодов и диодов с накоплением заряда.

Были сняты следующие импульсные характеристики диодов:

1) зависимость времени восстановления обратного сопротивления диодов $\tau_{\text{восст.}}$ от прямого тока $i_{\text{пр.}}$ при $U_{\text{обр.}} = \text{const}$, а также $t_1, t_2 = f(i_{\text{пр.}})$ при $U_{\text{обр.}} = \text{const}$ (для диодов с накоплением заряда), где t_1 - длительность "полочки", t_2 - длительность скачка;

2) выходная характеристика последовательного формирователя;

3) зависимость времени установления прямого сопротивления диодов $\tau_{\text{уст.}}$ от прямого тока $i_{\text{пр.}}$ при $U_{\text{обр.}} = \text{const}$;

4) зависимость максимального прямого импульсного напряжения $U_{\text{имп.}}$ от прямого тока $i_{\text{пр.}}$ при $U_{\text{обр.}} = \text{const}$;

5) выходная характеристика параллельного формирователя.

Исследовались следующие типы диодов: германиевый диод с золотой связкой, германиевый диод ГД508, кремниевый диод с золотой связкой, кремниевый диод КД503Б, планарный эпитаксиальный диод КД509А, кремниевый планарный диод наносекундного диапазона, кремниевый диод наносекундного диапазона, кремниевый планарный диод с накоплением заряда.

Для измерений использовалась следующая аппаратура: строб-осциллограф, имеющий время установления вертикального отклонения 0,35 нсек; ртутный генератор ЕМ1, выдающий перепад напряжения с фронтом 0,4сек (после аттенюатора - 0,8 нсек). Схемы измерений были выбраны в соответствии с методикой, описанной в /1/.

Поскольку переходные характеристики диодов зависят от внутреннего сопротивления источника сигнала, то для обоих включений, параллельного и последовательного, характеристики снимались для практически крайних случаев - когда сигнал подавался на диод с высокочастотного кабеля (режим, близкий к генератору напряжения) и когда диод управлялся с коллектора транзистора (генератор тока).

Последовательный формирователь

Схема для определения времени восстановления обратного сопротивления $\tau_{\text{восст.}}$ приведена на рис. 1. Измерения производились при прямом токе смещения $i_{\text{пр.}} = 5, 10, 20$ и 30 ма и амплитуде запирающего напряжения $U_{\text{обр.}} = 6, 25$ вольт. На осциллографе рассматривалась форма импульса напряжения на малом последовательно включенном сопротивлении (8 ом). Время восстановления определялось как интервал времени $\tau_{\text{восст.}}$ от момента, когда ток через диод равен некоторой части от полной амплитуды, до момента, когда обратный ток уменьшится до постоянного уровня, т.е. когда восстановится обратное сопротивление диода. Поскольку переходные процессы в измерительных цепях и паразитные индуктивности вносят искажения в измерения, то для определенности при измерении $\tau_{\text{восст.}}$ (см. рис. 2а) и t_1 (см. рис. 2б) за начало отсчета принималась точка, в которой $U_{\text{имп.}}$ достигает 10% своей полной величины, а за конец отсчета - первое пересечение после обратно-

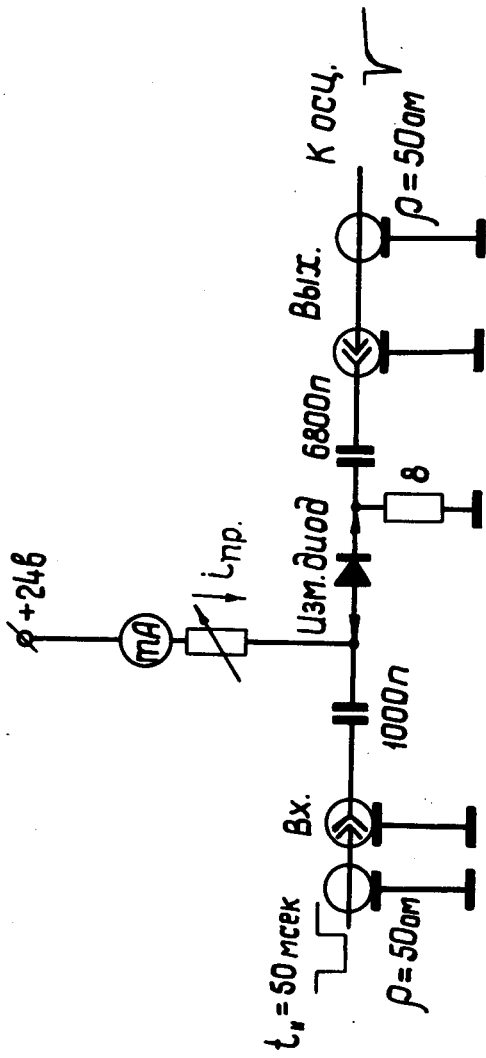


Рис. 1. Схема для снятия импульсных характеристик диодов (последовательный формирователь).

го выброса на уровне установившегося обратного сопротивления. Время t_2 , характеризующее время быстрого нарастания обратного сопротивления диодов с накоплением заряда, определялось как интервал времени между окончанием t_1 и первым пересечением установившегося уровня после выброса (см. рис. 26). Время t_1 определялось от момента, когда выходной импульс достигает 10% своей максимальной амплитуды и до начала отсчёта t_2 .

Кривые зависимости $\tau_{\text{восст.}} = f(i_{\text{пр.}}) U_{\text{обр.}} = \text{const}$ для всех исследуемых типов диодов приводятся на рис. 3. На рис. 4 показаны более подробно эти же кривые для быстродействующих диодов. Кривые $t_1, t_2 = f(i_{\text{пр.}}) U_{\text{обр.}} = \text{const}$ для диодов с накоплением заряда показаны на рис. 5 и 6.

Из рассмотрения этих кривых следует, что:

1) наименьшим временем восстановления обладают германиевые диоды ГД508 ($\tau_{\text{восст.}} \approx 1,7$ нсек);

2) кремниевые диоды наносекундного диапазона и кремниевые диоды с золотой связкой имеют также малое время восстановления при токах $i_{\text{пр.}} \leq 10$ ма;

3) наименьший накопленный заряд наблюдается у германиевых диодов и не зависит от тока $i_{\text{пр.}}$, у кремниевых он в несколько раз больше и пропорционален $i_{\text{пр.}}$;

4) у диодов с накоплением заряда (см. рис. 5 и 6) длительности "полочки" t_1 и спада t_2 пропорциональны прямому току, хотя у t_2 эта зависимость выражена слабее.

Зависимость $i_{\text{вх.}} = f(U_{\text{вх.}})$ или характеристика формирования для последовательного диодного формирователя с запуском через кабель показана на рис. 7. Наилучшим качеством формирования обладают германиевые диоды ГД508. Кривые были получены при $i_{\text{пр.}} = 5$ ма.

На рис. 8а показана схема для снятия характеристики формирования последовательного диодного формирователя при запуске с коллектора транзистора ($f_a \approx 1,5$ Гц), а на рис. 8б - форма выходного импульса. На рис. 9 приведены характеристики формирования для различных типов диодов. Штрих-пунктирными линиями обозначены установившиеся значения

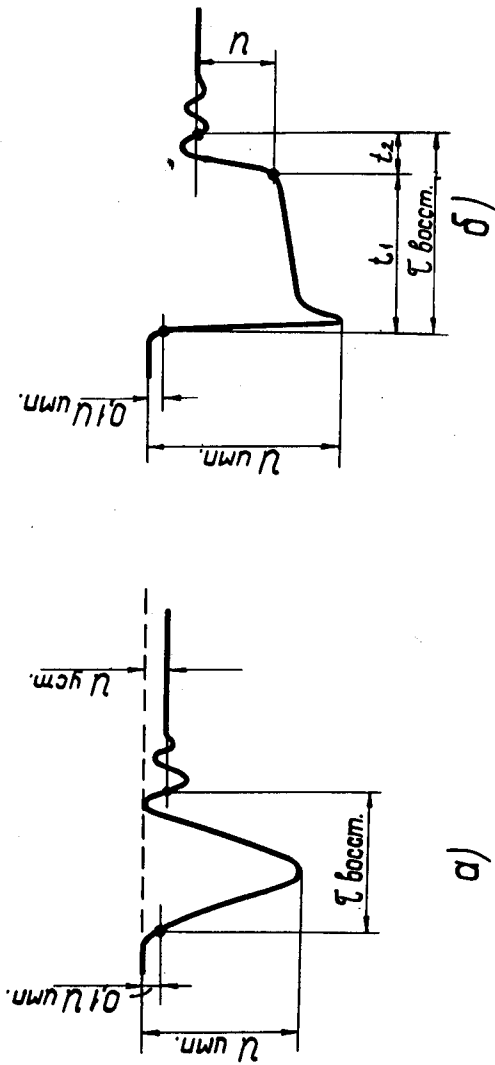


Рис. 2. Форма выходного сигнала со схемы, изображенной на рис. 1, с обозначением исследуемых параметров для диодов: а) импульсных, б) с накоплением заряда.

$\tau_{\text{восст, нсек}}$

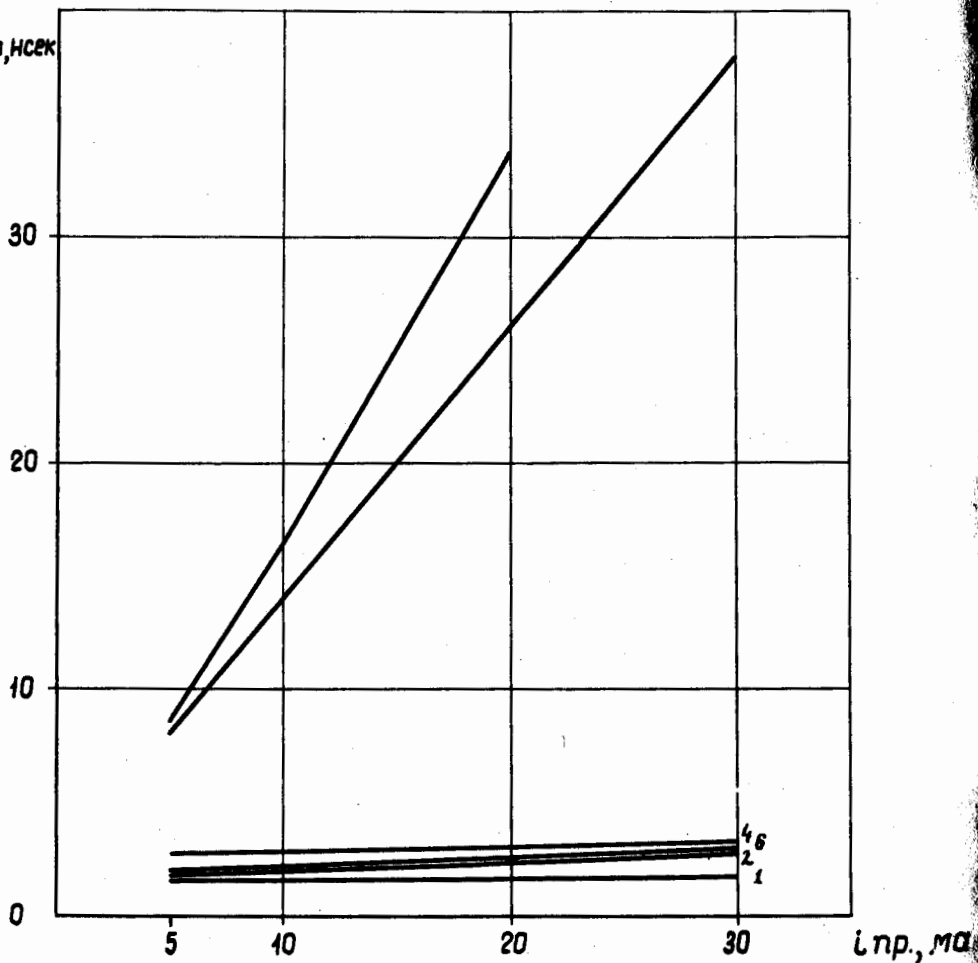


Рис. 3. Зависимости $\tau_{\text{восст.}} = f(i_{\text{пр.}})$ при $U_{\text{обр.}} = 6,35$ в для кремниевых диодов с накоплением заряда (две верхние кривые) и для импульсных диодов (нижние кривые): 1) германиевый диод с золотой связкой, 2) германиевый диод ГД508, 4) планарный эпитаксиальный диод КД509А, 6) кремниевый планарный диод наносекундного диапазона.

$\tau_{\text{восст.}}$, нсек.

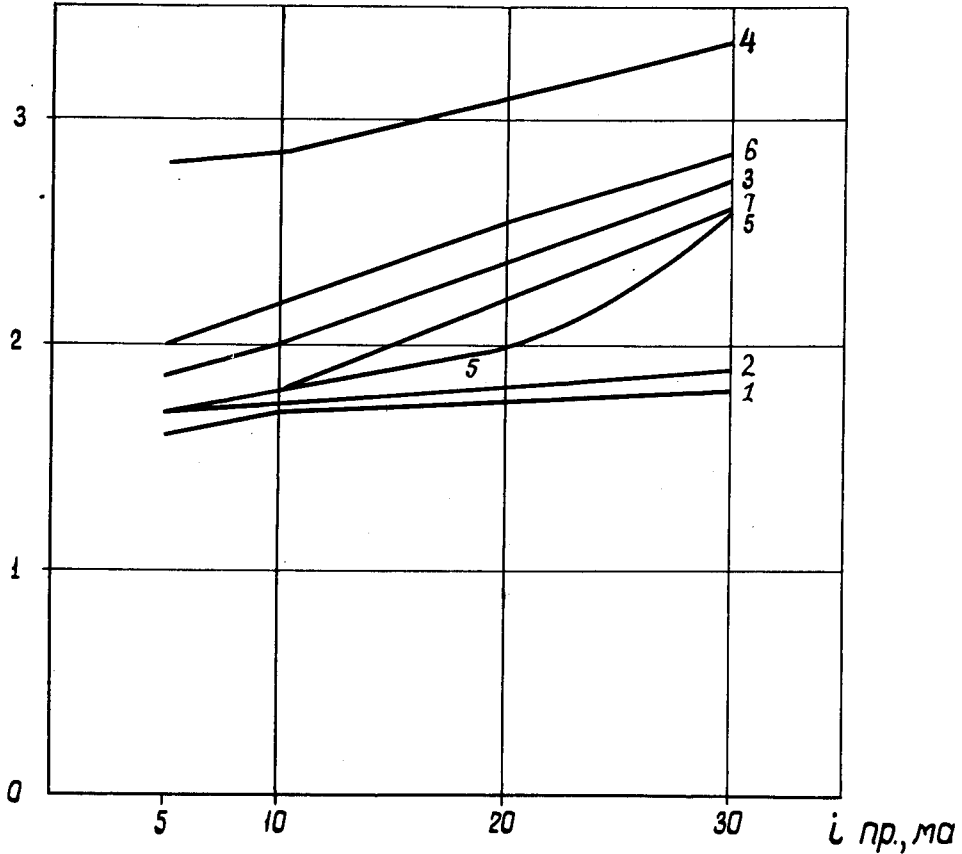


Рис. 4. Зависимости $\tau_{\text{восст.}} = f(i_{\text{пр.}})$ при $U_{\text{обр.}} = 6,25$ в для импульсных диодов: 3) диод КД503Б ;5) кремниевый диод с золотой связкой, 7) кремниевый диод наносекундного диапазона, остальные обозначения как на рис. 3.

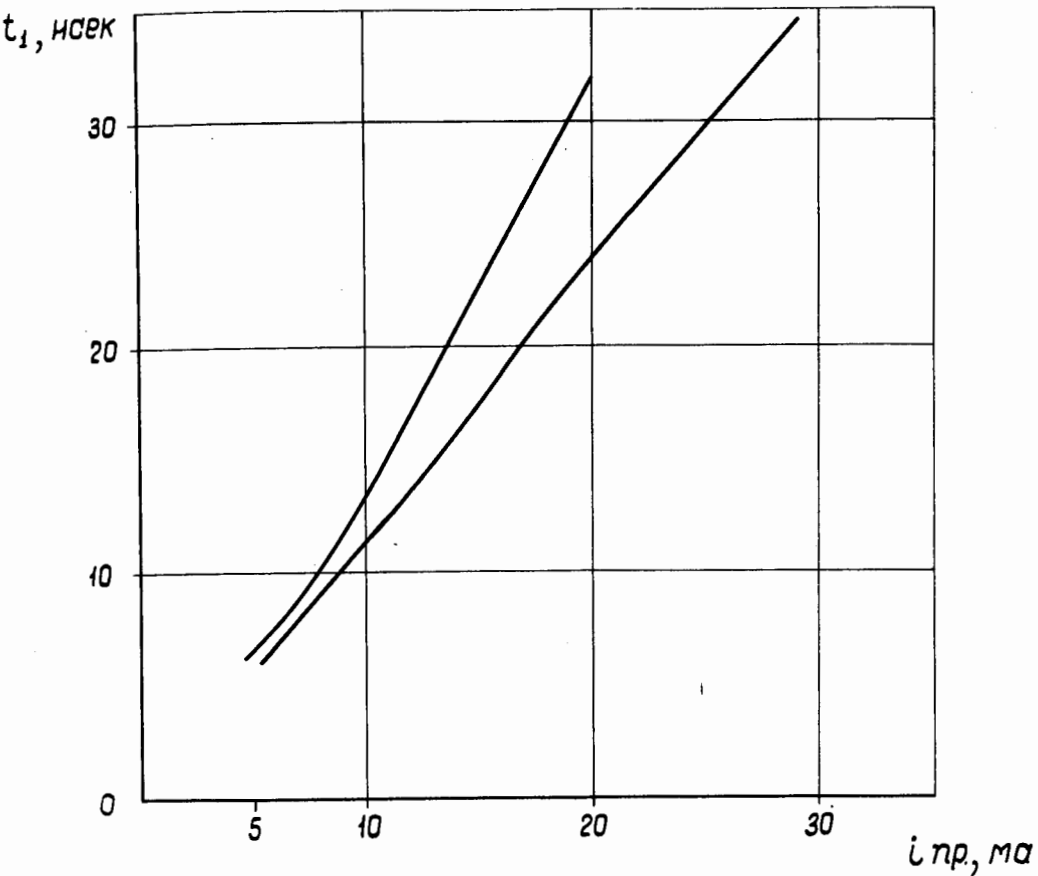


Рис. 5. Зависимость $t_1 = f(i_{пр})$ при $U_{обр.} = 6,25$ в для кремниевых планарных диодов с накоплением заряда.

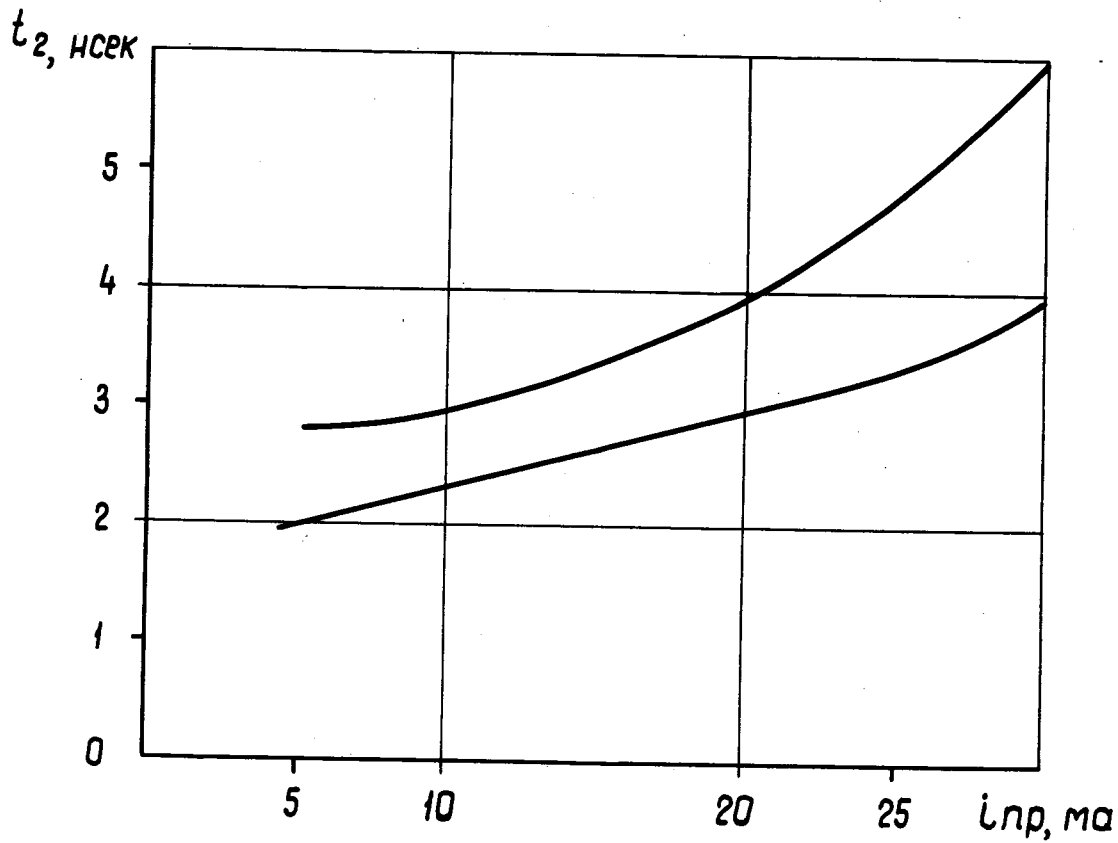


Рис. 6. Зависимость "полочки" $t_{\neq f}(i_{пр.})$ при $U_{обр.} = 6,25$ в для кремниевых планарных диодов с накоплением заряда.

тока на закрытых диодах. Видно, что наименьшим выбросом характеризуются диод ГД508, кремниевый диод с золотой связкой и кремниевые диоды наносекундного диапазона. Для кремниевых диодов с золотой связкой амплитуда выброса мала и близка к $U_{уст.}$. Для всех импульсных диодов амплитуда импульса слегка растет с увеличением амплитуды запирающего импульса. Для кремниевых планарных диодов с накоплением заряда амплитуда выброса пропорциональна амплитуде приложенного запирающего напряжения.

Параллельный формирователь

Схема для измерений приводится на рис. 10. Как и в случае измерений $\tau_{восст.}$, $\tau_{уст.}$ определялось при прямом токе смещения, принимающем значения $i_{пр.} = 0, 5, 10, 20$ и 30 ма, и амплитуде прямого импульса на входе $U_{пр.} = 6,25$ вольт.

Время установления прямого сопротивления определяется как интервал времени от момента подачи 0,1 амплитуды прямого импульса до момента, когда сопротивление диода спадает до величины, превышающей на 20% величину статического прямого сопротивления, что соответствует значению напряжения на диоде, составляющему 1,2 установившейся величины $U_{уст.}$ (см. рис. 11). Кривые $\tau_{уст.} = f(i_{пр.})$ при $U_{пр.} = 6,25$ в представлены на рис. 12. При рассмотрении этих кривых можно отметить, что

1) время установления для проводящего диода заметно больше времени установления для непроводящего;

2) наименьшее время установления имеет кремниевый импульсный диод КД 503: $\tau_{уст.} = 1,3$ нсек при $i_{пр.} = 0$, $\tau_{уст.} = 1,8$ нсек при $i_{пр.} = 10-20$ ма;

3) величина $\tau_{уст.}$ для проводящих диодов мало зависит от тока $i_{пр.}$ и для всех остальных диодов $\tau_{уст.} \approx 2$ нсек; зависимость $\tau_{уст.}$ от прямого смещения диода заметно выражена только при малых значениях прямого тока (от 0 до 2 ма); в диапазоне токов $i_{пр.} = 5-30$ ма зависимость $\tau_{уст.}$ от $i_{пр.}$ практически не обнаружена.

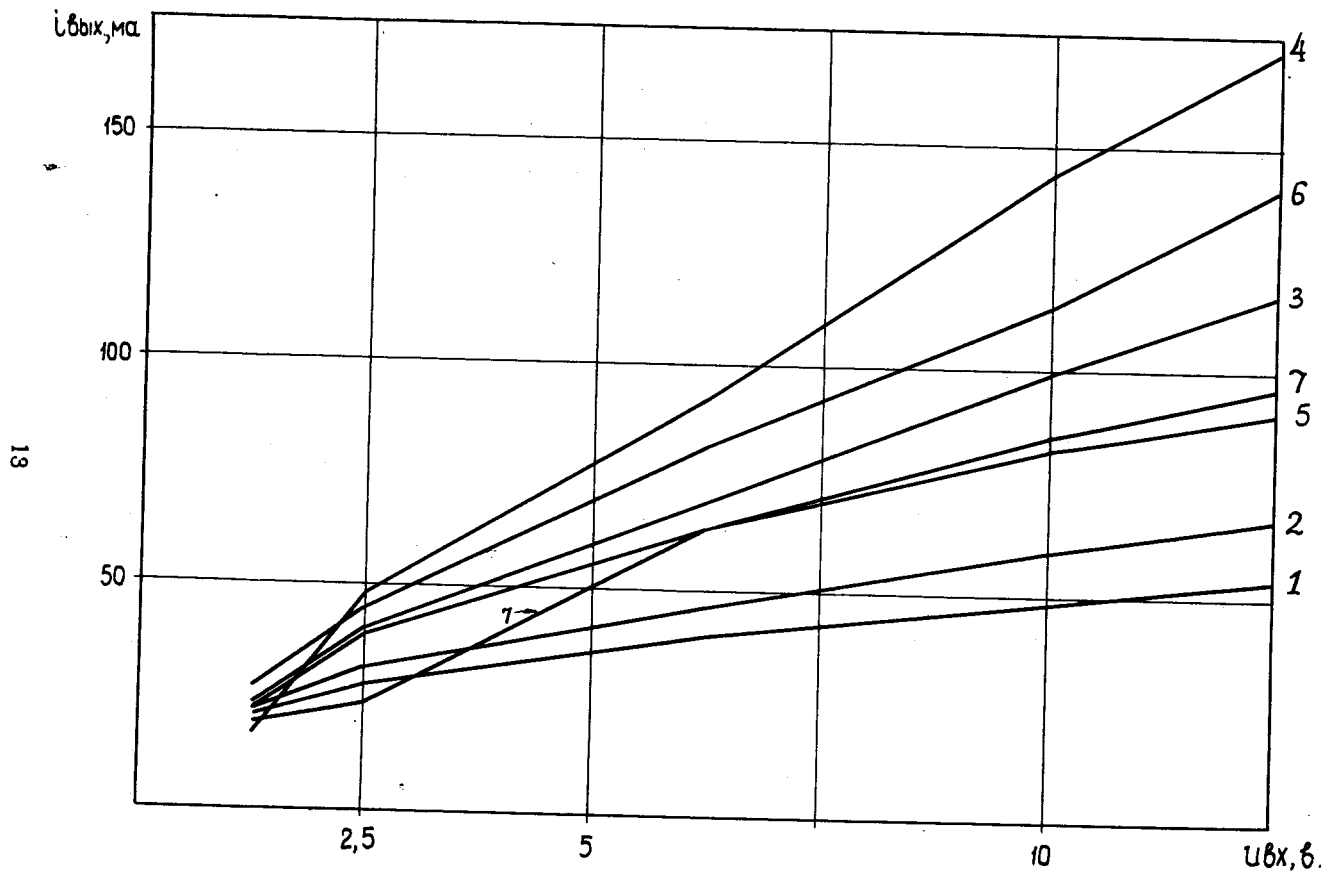


Рис. 7. Выходные характеристики последовательного диодного формирователя $i_{\text{вых.}} = f(U_{\text{вх.}})$ при $i_{\text{пр.}} = 5$ ма, $R_{\text{н}} = 7$ ом.
 Остальные обозначения как на рис. 3,4.

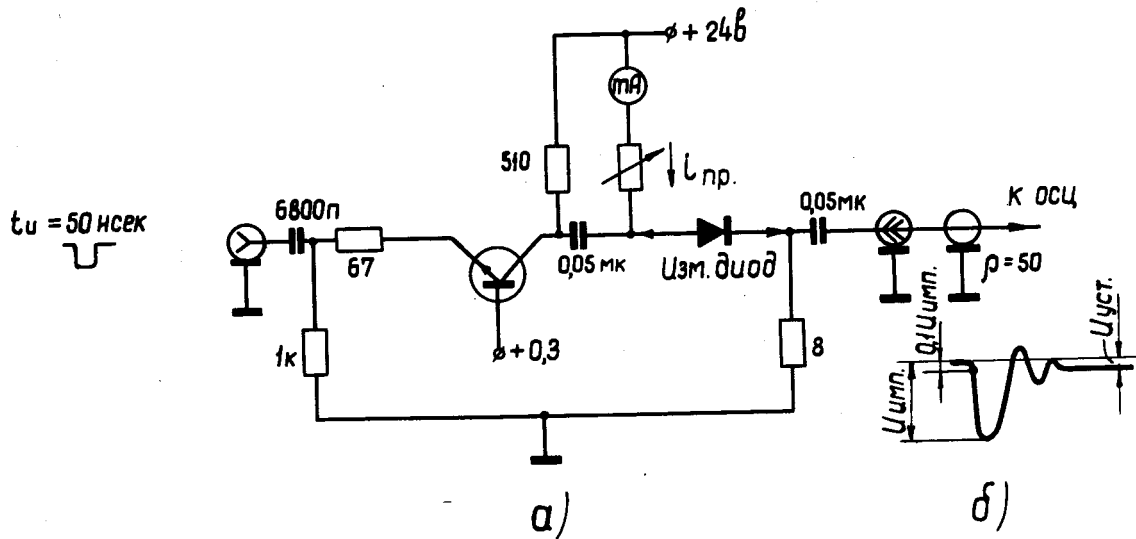


Рис. 8. Принципиальная схема для снятия выходных характеристик последовательного диодного формирователя с запуском через транзистор (а): $i_{\text{имп}} = f(U_{\text{вх}})$, $i_{\text{уст.}} = f(U_{\text{вх}})$ при $i_{\text{пр.}} = 5 \text{ ма}$, $R_{\text{н}} = 7 \text{ ом}$; форма выходного сигнала (б).

$I_{\text{упн}}, \text{мА}$

15

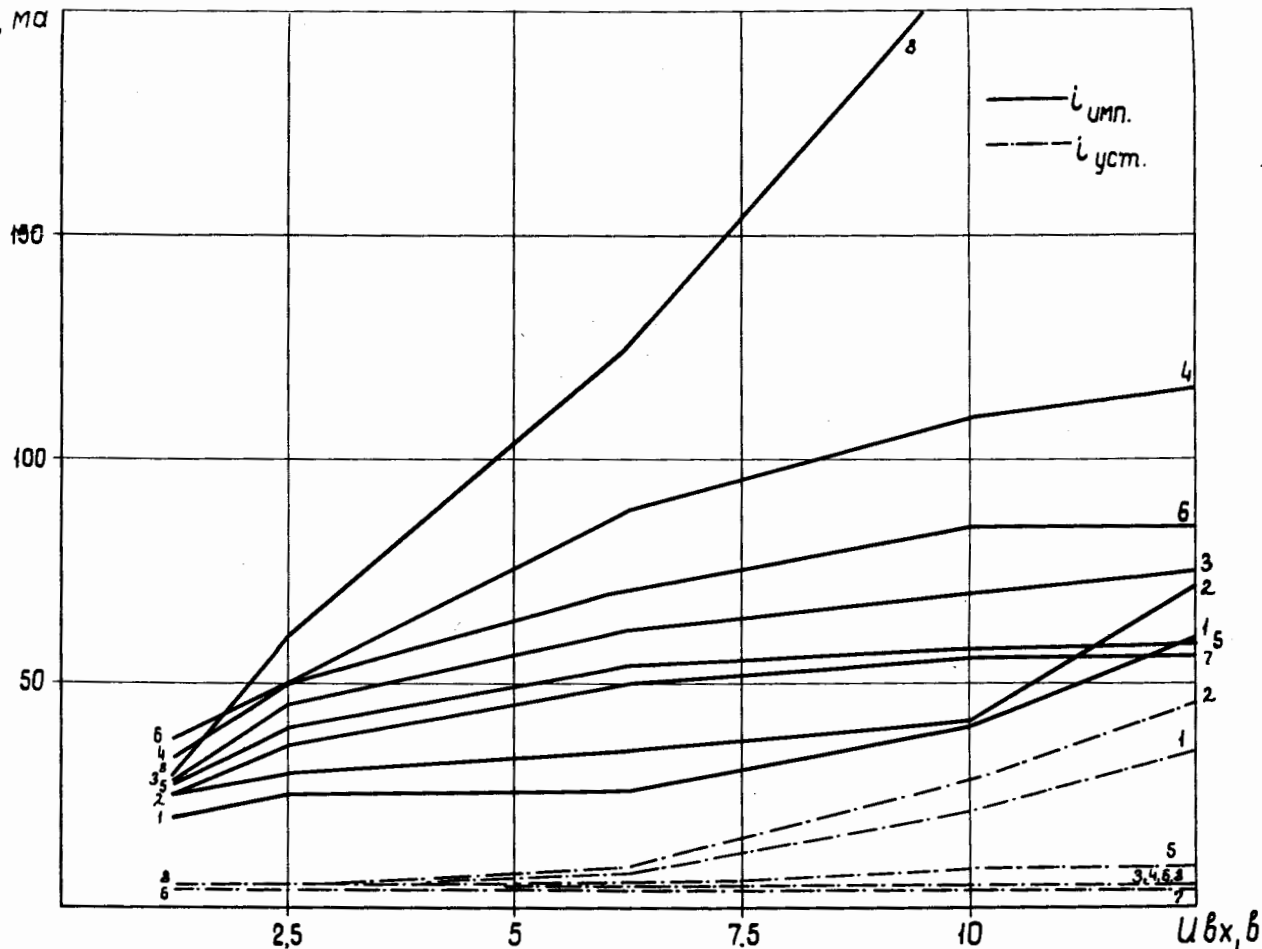


Рис. 9. Выходные характеристики последовательного диодного формирователя с запуском через транзистор $i_{\text{имп}} = f(U_{\text{вх}})$, $i_{\text{уст.}} = f(U_{\text{вх}})$ при $i_{\text{пр.}} = 5 \text{ мА}$, $R_{\text{н}} = 7 \text{ ом}$; 8 - кремниевый планарный диод с накоплением заряда; остальные обозначения как на рис. 3,4.

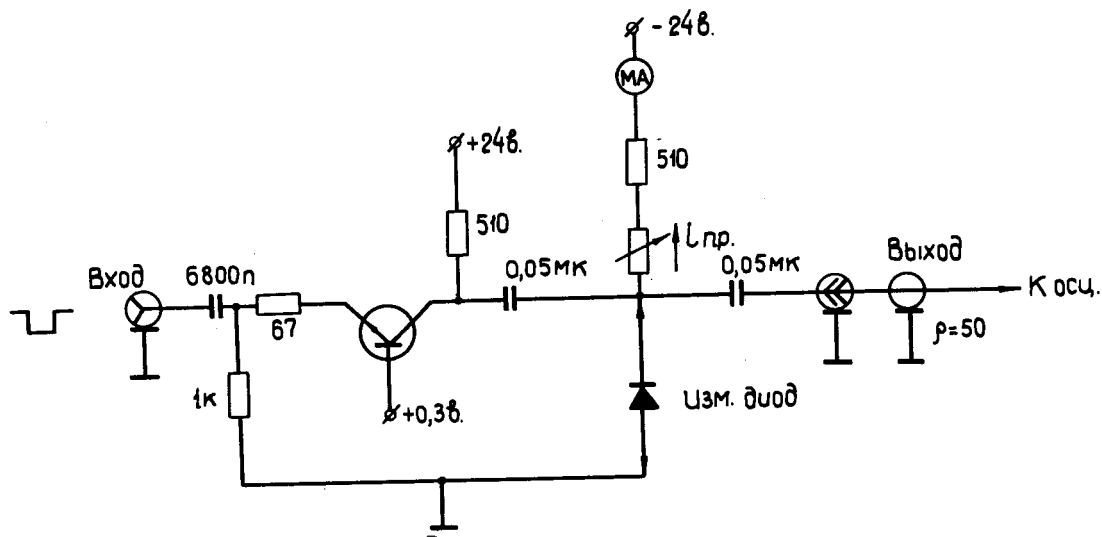


Рис. 10. Схема для снятия импульсных характеристик диодов:

$\tau_{\text{уст.}} = f(i_{\text{пр}})$ при $U_{\text{вх.}} = 6,25 \text{ В}$,
 $U_{\text{имп.}} = f(i_{\text{пр}})$ при $U_{\text{вх.}} = 6,25 \text{ В}$ и выходных
 характеристик параллельного формирователя с запуском через
 транзистор.

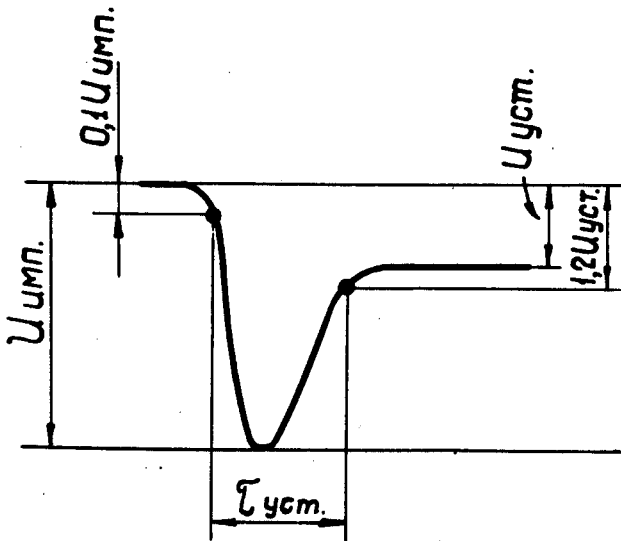


Рис. 11. Форма выходного сигнала со схемы, изображенной на рис. 10, и определения исследуемых параметров.

$\tau_{уст}$, мсек.

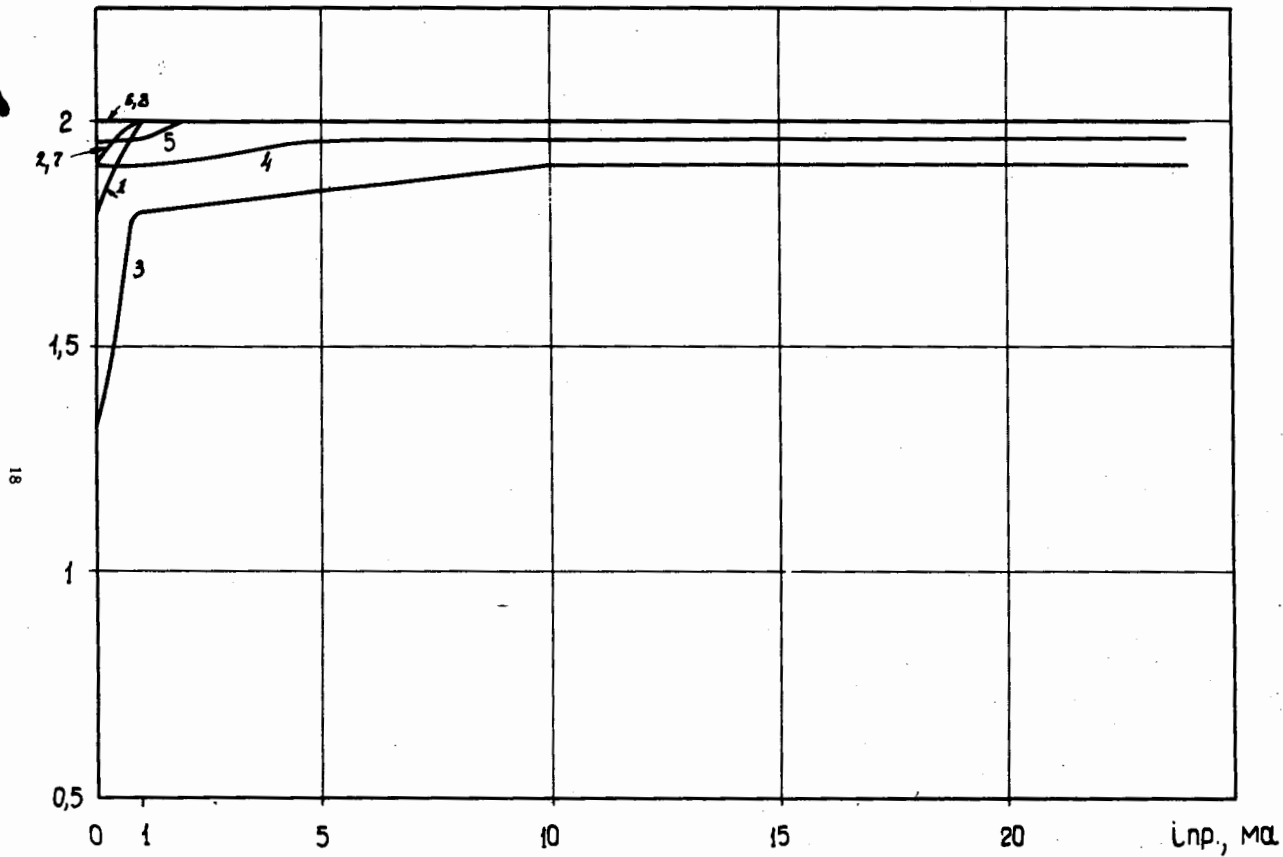


Рис. 12. Зависимости $\tau_{уст} = f(i_{пр.})$ при $U_{пр.} = 6,25$ в;
остальные обозначения как на рис. 3,4,9.

На рис. 13 показана зависимость прямого импульсного падения напряжения на диоде $U_{\text{имп.}}$ от $i_{\text{пр.}}$ при $U_{\text{пр.}} = 6,25$ в. Наименьшее импульсное падение напряжения наблюдается для кремниевых диодов с золотой связкой. Наибольшее - для всех кремниевых импульсных диодов. Импульсное падение напряжения резко уменьшается при открывании диода уже при токах 1+2 ма. В диапазоне $i_{\text{пр.}}$ от 2 до 10 ма $U_{\text{имп.}}$ слабо зависит от $i_{\text{пр.}}$. Наименьшим установившимся падением напряжения обладают планарные эпитаксиальные диоды наносекундного диапазона.

Характеристики формирования параллельного формирователя с запуском через транзистор приведены на рис. 14. Штрих-пунктирными линиями обозначены кривые для $U_{\text{уст.}} = f(U_{\text{вх.}})$, соответствующие статическим вольтамперным характеристикам. Наименьшее отличие статических и импульсных характеристик наблюдается для кремниевых диодов наносекундного диапазона, хотя сопротивление этих диодов в прямом направлении является наибольшим.

На рис. 15а показана схема для снятия выходных характеристик параллельного формирователя при запуске через кабель, а на рис. 15б приведена форма выходного импульса. На рис. 16 показаны выходные характеристики. Видно, что для кремниевых диодов наносекундного диапазона также наблюдается наименьшее различие между статической и импульсной вольтамперными характеристиками.

В заключение авторы пользуются случаем, чтобы поблагодарить Ю.Р.Носова, Ю.С.Федоровского и Л.В.Губырина, предоставивших необходимые диоды для измерений, а также за ценные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.Р.Носов. Полупроводниковые импульсные диоды. Сов. радио., М., 1965.
2. С.А.Еремин и др. Полупроводниковые диоды с накоплением заряда и их применение. Сов. радио, М., 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел

21 апреля 1969 года.

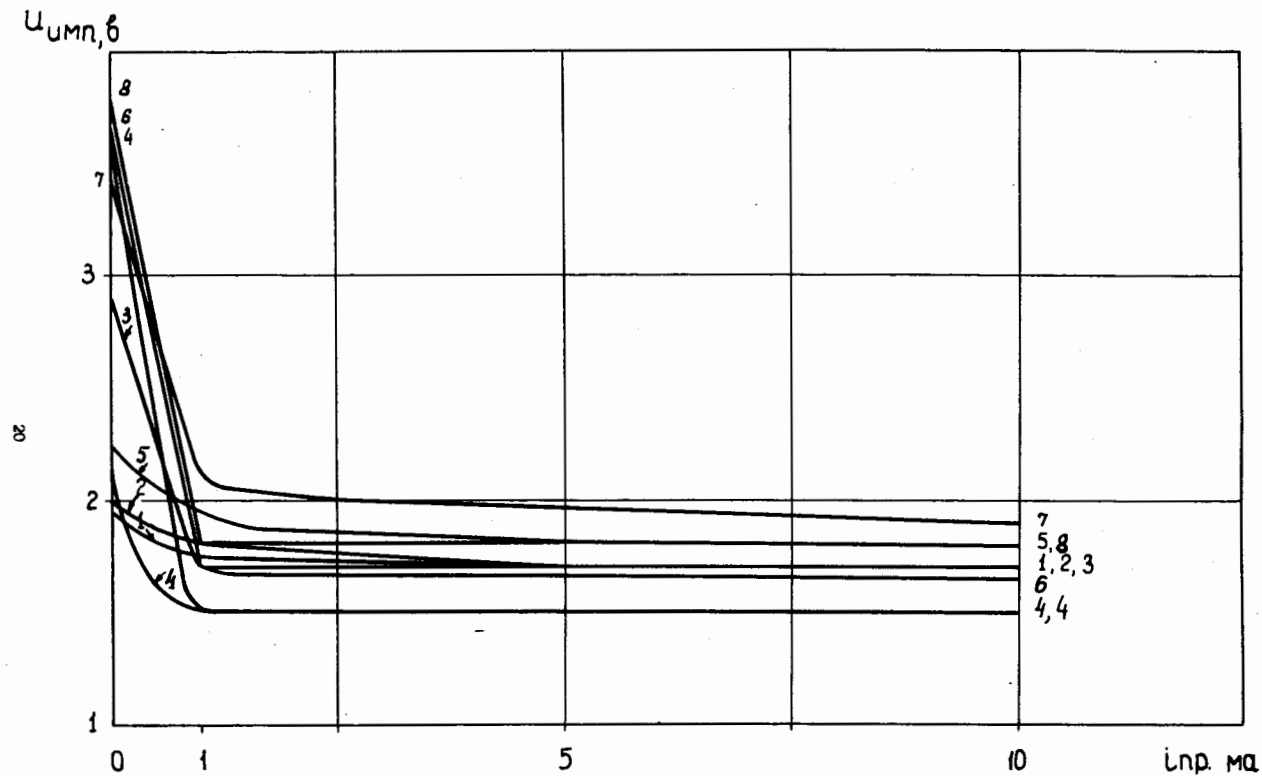


Рис. 13. Зависимости $U_{\text{имп.}} = f(i_{\text{пр.}})$ при $U_{\text{вз.}} = 6,25 \text{ в}$;
 Остальные обозначения как на рис. 3,4,9.

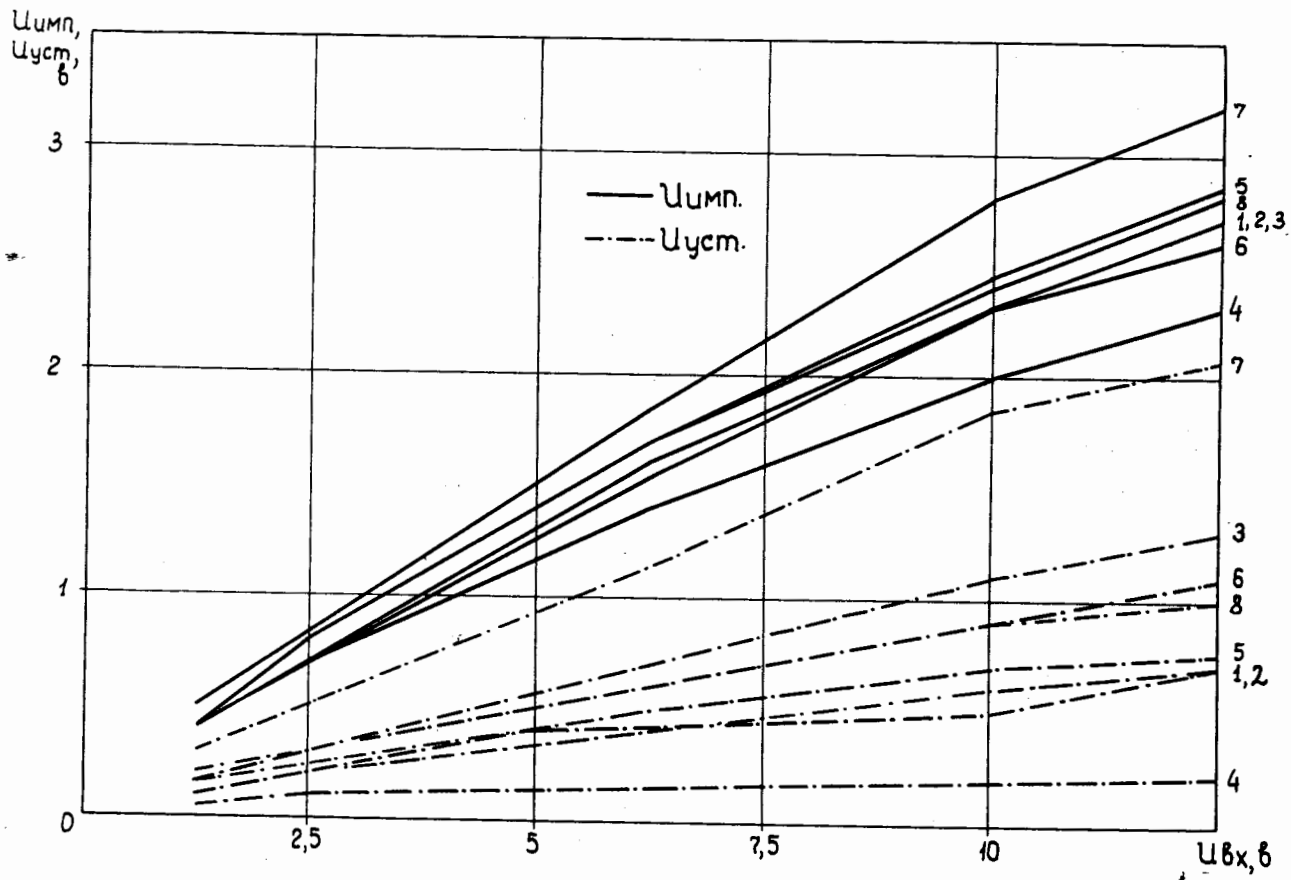


Рис. 14. Выходные характеристики параллельного диодного формирователя с запуском через транзистор $U_{имп} = f(U_{вх})$ при $i_{пр.} = 5$ ма; остальные обозначения как на рис. 3,4,9.

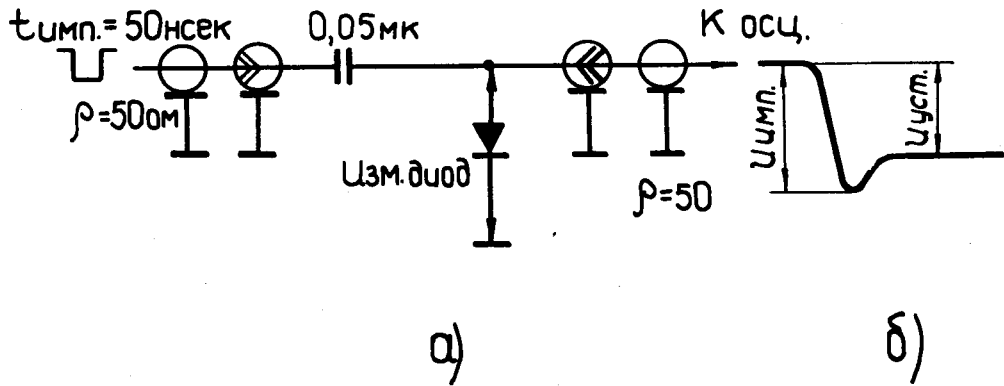


Рис. 15. Принципиальная схема для снятия выходных характеристик параллельного диодного формирователя (а); форма выходного импульса (б).

$U_{имп.}$
 $U_{уст.}$, в

23

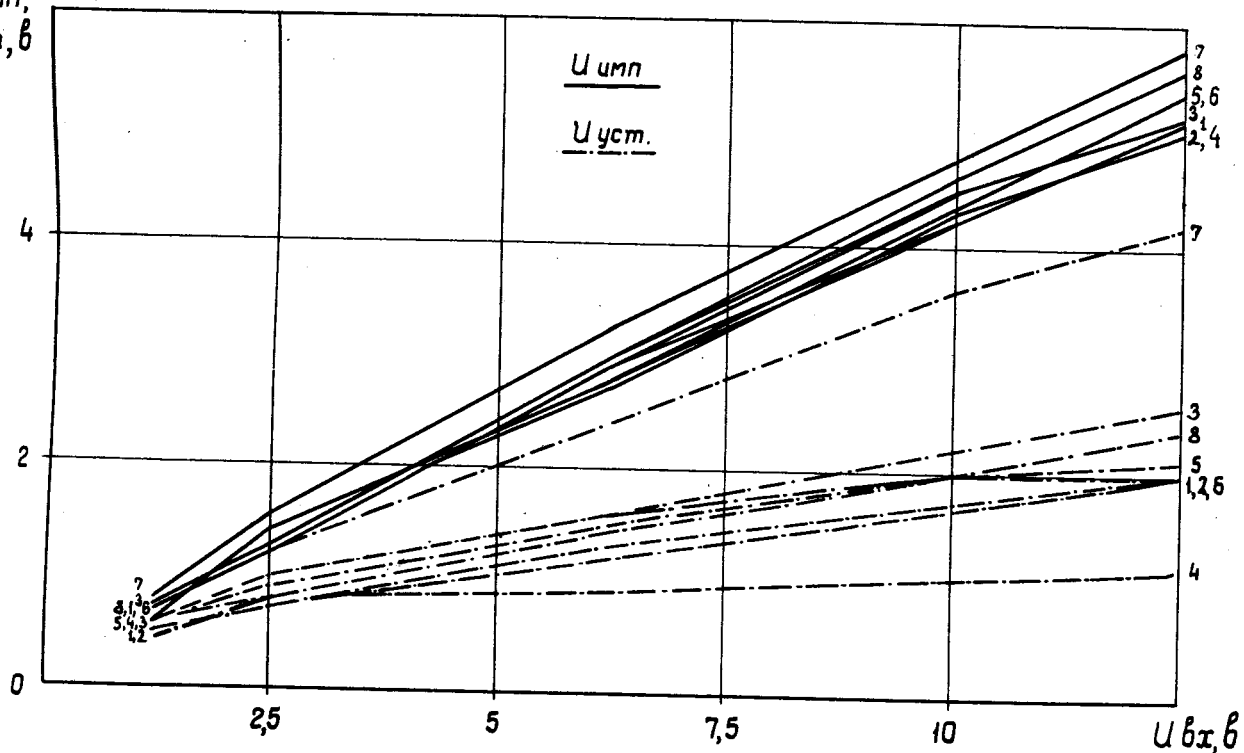


Рис. 16. Выходные характеристики параллельного диодного формирователя с запуском через кабель $U_{имп.} = f(U_{вх.})$

$U_{уст.} = f(U_{вх.})$ при $i_{пр.} = 0$; остальные обозначения как на рис. 3,4,9.