



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2001–53
ОЭА

Е.А. Усенко

**НИЗКОПороГОВЫЙ ДИСКРИМИНАТОР
ДЛЯ КАМЕР RPC**

Направлено в ПТЭ

Протвино 2001

Аннотация

Усенко Е.А. Низкопороговый дискриминатор для камер RPC: Препринт ИФВЭ 2001-53. – Протвино, 2001. – 7 с., 6 рис., 1 табл., библиогр.: 6.

Описан низкопороговый усилитель-дискриминатор (УД), предназначенный для считывания информации с камер RPC (Resistive Plate Chambers). УД состоит из предусилителя (ПУ) и дискриминатора (Д). Устройство имеет минимальный порог срабатывания 60 мкВ при входном импедансе 25 Ом, что соответствует величине заряда, выделенного на стрипе 0,12 pC. Временной джиттер УД не превышает 0,6 нс в диапазоне входных сигналов от $2U_{пор}$ до $20U_{пор}$. Уровень приведенного к входу шума ПУ < 25 мкВ (RMS). УД разрабатывался для тестирования камер RPC эксперимента ATLAS (CERN).

Abstract

Usenko E.A. Low Threshold Discriminator for Chambers RPC: IHEP Preprint 2001-53. – Protvino, 2001. – p.7, figs. 6, table 1., refs.: 6.

The fast, low threshold discriminator for testing RPC chambers for Muon System ATLAS experiment (CERN, Switzerland) are presented. Low threshold discriminator is complete of low noise preamplifier and time-over-threshold discriminator. The preamplifier is consisting of external circuit of low noise transistor KT399A and fast amplifier 171UV2 (analog mA733). The results of its general characteristics are presented. The minimum threshold of amplifier-discriminator is 60 uV, input impedance 25 Ohm, time slewing is 0.6 nsec from $2X$ to $20X$ threshold, minimum input voltage noise 25 uV (RMS), rise time of preamplifier typically 8 nsec.

Введение

Считывание зарядов в камерах RPC [1] производится стриповыми панелями, состоящими из 25-омных полосковых линий (стрипов). Источник сигнала (стрип) представляет для входного каскада предусилителя генератор напряжения, так как полосковая линия согласуется с обеих сторон импедансными резисторами сопротивлением 25 Ом.

Спектр сигналов, регистрируемых со стриповых полосок камер RPC, составляет приблизительно 170 МГц, длительность импульса по основанию $\tau_{и} = 5$ нс, длительность переднего фронта $\tau_{фр01} = 1,5\text{--}2$ нс, заднего фронта $\tau_{фр10} = 3$ нс [2]. Величина минимального заряда, выделенного в камере, составляет 0.3 pC [2], что соответствует уровню напряжения 170 мкВ на стрипе, согласованном с обеих сторон резисторами 25 Ом. При этом уровень температурных шумов идеального сопротивления номиналом 25 Ом в полосе частот 170 МГц не превышает 8 мкВ (RMS) [2]. Отсюда вытекают требования к предусилителю. Рабочий порог дискриминации для камер должен составлять 100–150 мкВ, уровень шумов, приведенный к входу предусилителя, 25 мкВ (RMS), коэффициент усиления по напряжению $K_u = 200\text{--}300$, время нарастания переходной характеристики ПУ должно обеспечивать джиттер выходного логического перепада дискриминатора <1 нс [2]. Из вышеизложенных требований к предусилителю можно сделать вывод о недостижимости их в совокупности, если придерживаться традиционных методов проектирования.

1. Выбор схемотехники головного каскада предусилителя

При проектировании описываемого ПУ была предпринята попытка реализовать требуемые временное разрешение и пороговые характеристики за счет оптимизации его частотных и шумовых свойств. Снижение порогов срабатывания усилителей-дискриминаторов до величин 100–150 мкВ в широкой полосе частот ограничено шумовыми свойствами ИС. Одним из возможных путей решения этой проблемы является использование на входе предусилителя согласующего каскада на малошумящем транзисторе. Предельные шумовые свойства современных сверхмалошумящих транзисторов недостижимы в интегральной технологии. Поэтому вопросы сочетания сверхмалошумящих транзисторных каскадов с интегральными усилителями будут актуальны и в перспективе при создании предусилителей с предельно достижимыми шумовыми свойствами (особенно в случае охлаждаемого входного каскада). Использование ИС видеоусилителя 171УВ2 (аналог mA733) [3] также ограничено его шумовыми характеристиками.

Улучшить шумовые свойства ИС 171УВ2 [3] можно, изменив стандартную схему включения ее входного дифференциального каскада и образовав каскадную схему с внешним малошумящим транзистором. Такое техническое решение позволяет решать отдельно задачи построения оптимально согласованного по шумам входного каскада и получения необходимого коэффициента усиления на универсальной ИС.

Схема включения транзистора VT1 может быть отнесена к смешанному включению (ОЭ, ОК) и по основным параметрам совпадает с каскадной схемой (ОЭ+ОБ), так как образует-

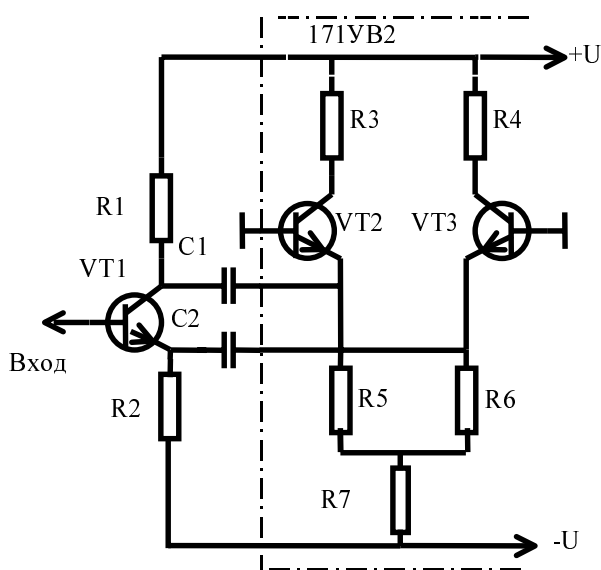


Рис. 1.

мов в нем на 3 дБ [4], а также расширение частотного диапазона схемы. Шумовая ЭДС ($e_{ш.вх}$), пересчитанная к базе транзистора VT1, содержит составляющую шума транзистора VT1 ($e_{ш}$), ослабленную дифференциальным каскадом на 3дБ, и незначительную составляющую шума транзисторов VT2 и VT3 ($e_{ш}/K_i$), пересчитанную с учетом коэффициента усиления по току (K_i) каскада на транзисторе VT1.

$$e_{ш.вх} = (e_{ш} + 2 e_{ш}/K_i)/\sqrt{2},$$

где $e_{ш.вх}$ – ЭДС шумов, приведенная к базе транзистора VT1; $e_{ш}$ – ЭДС шумов транзистора VT1; K_i – коэффициент усиления по току (>50) каскада на транзисторе VT1. Считаем также, что ЭДС шумов транзисторов VT1, VT2, VT3 равны $e_{ш}$, а ослабление шумов дифференциальным каскадом составляет 3 дБ (в $\sqrt{2}$ раз). Таким образом, основной шумовой компонентой, приведенной к входу усилителя, является ЭДС шума $e_{ш}$ транзистора VT1, ослабленная дифференциальным каскадом на 3 дБ (пренебрегаем вкладом шумов дифференциального каскада). Режим короткого замыкания по цепям коллектора и эмиттера транзистора VT1 означает отсутствие усиления по напряжению, но наличие практически одинакового усиления по току (>50) в цепях коллектора и эмиттера.

2. Описание принципиальной электрической схемы низкопорогового усилителя-дискриминатора

Принципиальная электрическая схема усилителя-дискриминатора (УД) представлена на рис. 2. Усилитель-дискриминатор состоит из входного каскада на малошумящем транзисторе VT1 (КТ399А), видеоусилителя на DA1 (171YB2), а также дискриминатора напряжения, реализованного на ИС DA2 быстродействующего компаратора AD96685. Схема включения входного транзистора VT1 с общим эмиттером (ОЭ) в чистом виде не целесообразна, так как из-за способности усиливать напряжение резко снижает площадь усиления ПУ в целом. Для построения ПУ была выбрана каскадная схема включения (ОЭ, ОК)+ОБ VT1 и входного каскада DA1. Такая схемотехника оказалась возможной благодаря особенностям построения ИС видеоусилителя 171YB2, в частности, наличием внешних выводов эмиттеров входного дифференциального каскада.

ся сочетанием схем включений (ОЭ+ОБ) и (ОК+ОБ). Как показано на рис.1, VT1 и транзисторы входного дифференциального каскада DA1 образуют каскадную схему включения (ОЭ, ОК)+ОБ, которая в отличие от стандартной схемы включения с ОЭ обладает преимуществами по шумам благодаря симметричному включению транзистора VT1, а также имеет большую площадь усиления. Это становится очевидным, если учесть, что нагрузка каскада по переменному току остается прежней и находится в DA1, а схема включения входного каскада DA1 изменяется с ОЭ на ОБ, что и увеличивает $f_{гр}$ каскада.

Введение транзистора VT1 обеспечивает усилителю входные шумовые свойства одиночного каскада, симметричную противофазную передачу сигнала к дифференциальному каскаду и компенсацию шу-

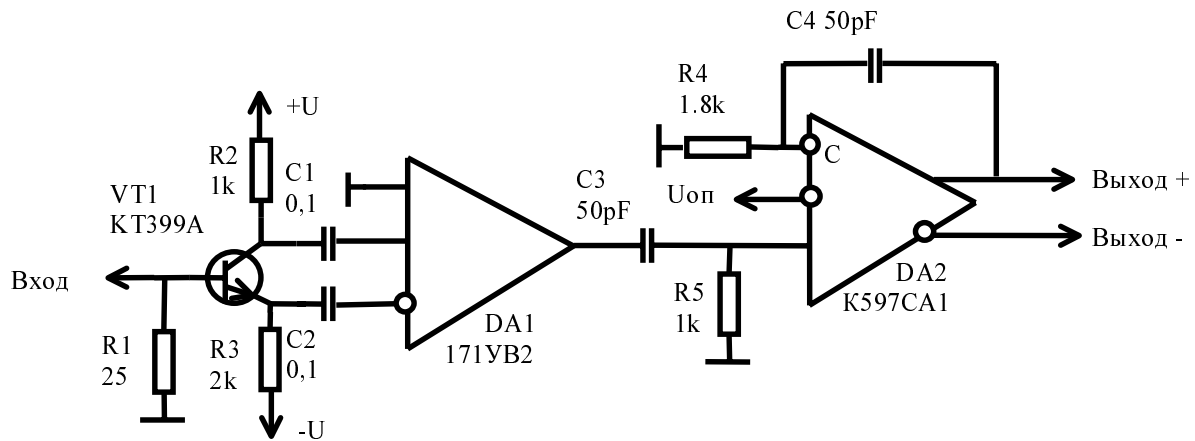


Рис. 2. Электрическая схема низкого порога усилителя-дискриминатора.

Так, если стандартной схеме включения ИС 171УВ2 соответствует пара $K_u = 200$ и $t_{фр} = 11$ нс ($\text{GainBandWight} = 6,3$ ГГц), то описываемый предусилитель характеризуется парой $K_u = 300$ и $t_{ф} = 8$ нс ($\text{GainBandWight} = 13,1$ ГГц). Переход в первом каскаде DA1 от схемы включения с ОЭ к схеме с ОБ достигается замыканием базовых выводов транзисторов дифференциального каскада на землю (выводы 9 и 10 DA1) и использованием в качестве входных выводов эмиттеров (выводы 7 и 12 DA1). Ножки 7 и 12 DA1 являются выводами эмиттеров его входного дифференциального каскада и используются в стандартном включении для задания местной обратной связи по току.

ИС DA1 171УВ2, включенная нестандартно по переменному току, остается в штатном режиме по постоянному току. При этом обеспечивается сохранение гарантированных изготовителем свойств (устойчивость, повторяемость, надежность).

При проектировании УД были исследованы два быстродействующих компаратора AD96685 или KP597CA1. Несмотря на сходство их амплитудно-временных характеристик (изменение времени задержки составляет порядка 4.5 нс), временное разрешение УД существенно отличается. Так, джиттеринг выходного импульса УД с компаратором AD96685 составил 150 пс, а с KP597CA1 – 600 пс (рис. 3).

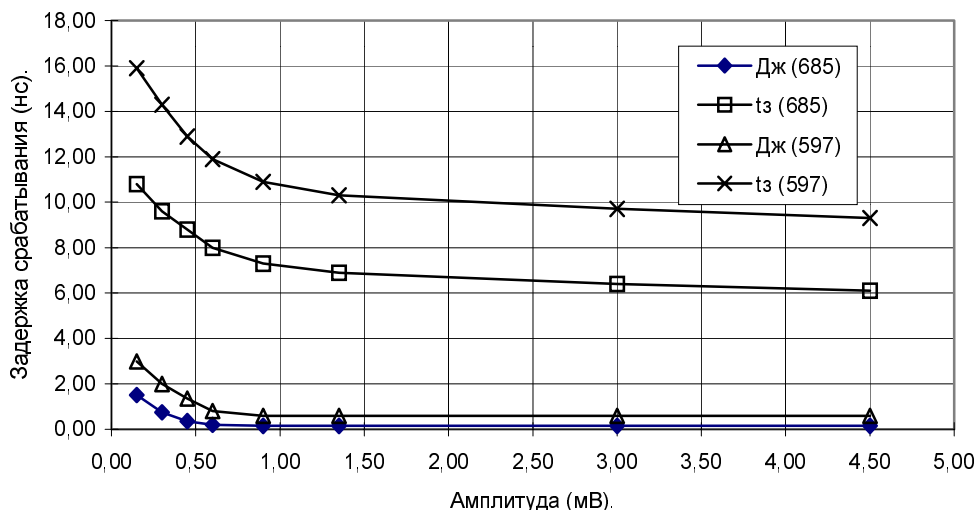


Рис. 3. Зависимость времени задержки (t_3) и джиттера (дж) от амплитуды входного сигнала (при $t_i = 10$ нс).

Результаты тестирования камер RPC с использованием описанного УД представлены в работах [5] и [6]. Основные характеристики УД приведены в **табл. 1** и проиллюстрированы на **рис. 3-6**.

Таблица 1. Основные характеристики УД.

1. Изменение задержки срабатывания в диапазоне входных сигналов от $2U_{пор}$ до $20U_{пор}$	(Δt_3) для K597CA1, AD96685	<4.6 нс <4.4 нс
2. Величина «джиттера» выходного импульса при уровне входного сигнала $>5U_{пор}$	($t_{дж}$), для K597CA1, AD96685	<0.6 нс <0.15 нс
3. Величина порога срабатывания при $t_i > 8$ нс, $R_{вх} = 25$ Ом	($U_{пор}$)	150 мкВ
4. Минимально достижимый порог срабатывания	($U_{пм}$)	60 мкВ
5. Минимальная длительность входного импульса при $U_{вх} = 2U_{пор}$	(t_i)	3 нс
6. Время восстановления после перегрузки величиной 40 дБ от уровня $2U_{пор}$	($t_{вос}$)	30 нс
7. Величина фронта переходной характеристики ПУ	($t_{фр}$)	8 нс
8. Коэффициент усиления по напряжению ПУ	(K_u)	300
9. Величина шумового напряжения, приведенная к входу ПУ	($e_{ш}$)	25 мкВ
10. Постоянная времени дифференцирующей цепочки на входе дискриминатора	(t_d)	50 нс
11. Уровень взаимовлияния каналов УД	($K_{пом}$)	-60 дБ
12. Потребляемый ток 16-канального УД	($I_{пот}$)	0,5/0.7А (+6/-6В)
13. Разброс порогов дискриминации 160 каналов УД		< 20 %

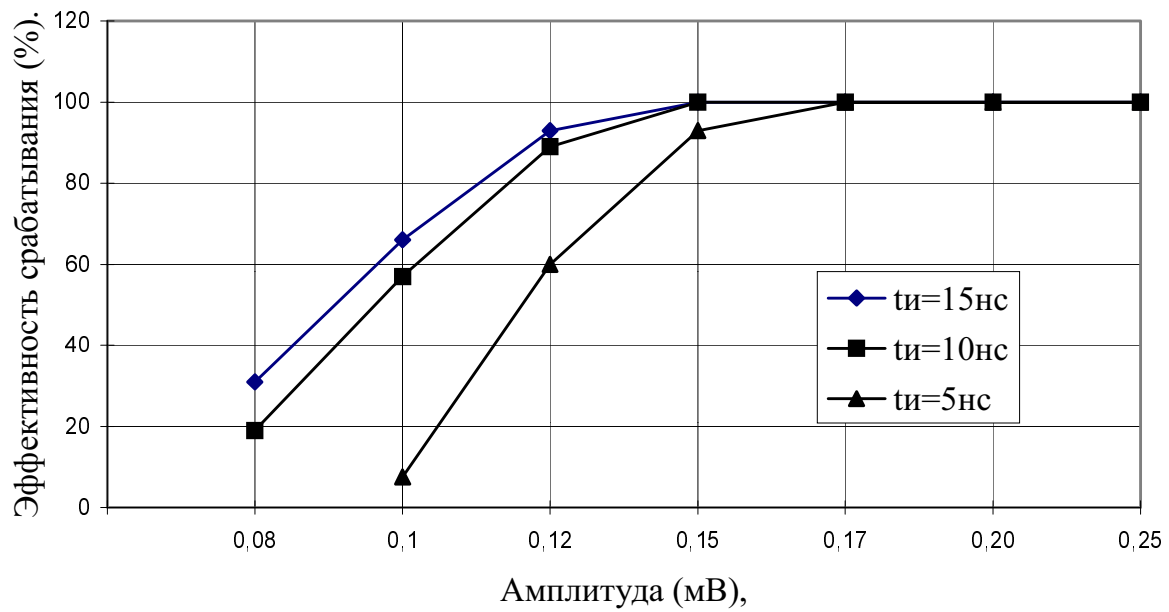


Рис. 4. Семейство пороговых характеристик УД. Зависимость эффективности срабатывания УД от амплитуды входного импульса (при $t_{и} = 5, 10, 15$ нс).



Рис. 5. Зависимость нормированной величины $U_{пор.} / U_{пор.0}$ от длительности входного импульса $t_{и}$ (нс). $U_{пор.0}$ – величина порога при $t_{и} > 10$ нс.

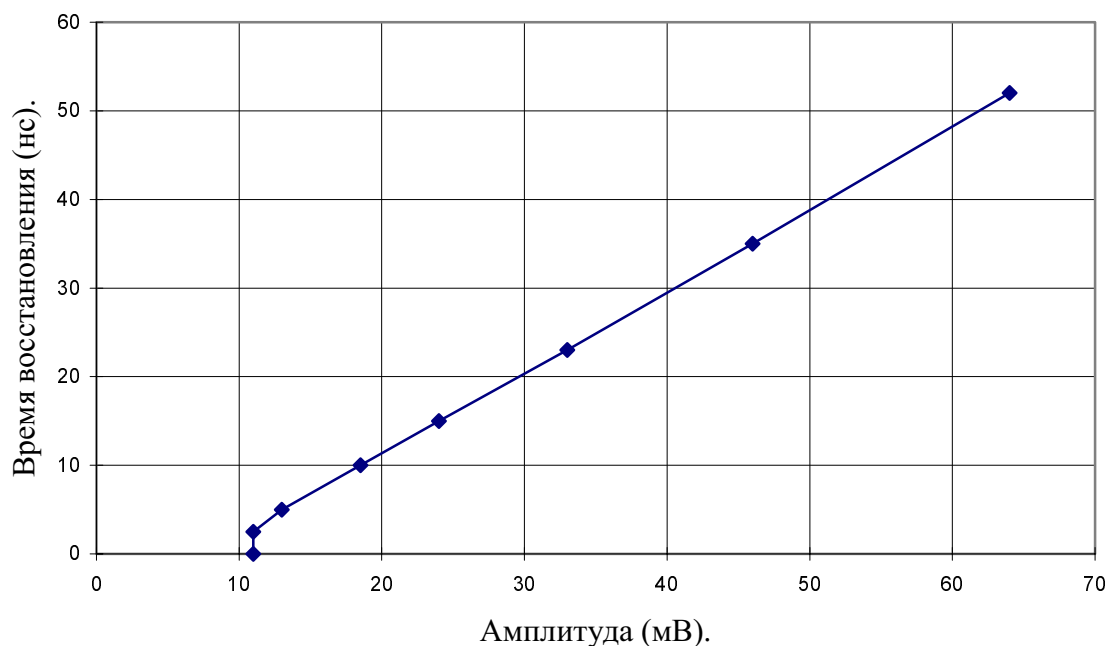


Рис. 6. Зависимость времени восстановления УД от амплитуды входного сигнала при длительности входного импульса $t_{in} = 10$ нс.

График на **рис. 6** иллюстрирует зависимость времени восстановления УД без формирования выходного сигнала по длительности.

Измерения проводились с использованием измерительного осциллографа С1-108 (350 МГц, $t_{фр} < 1.25$ нс), генератора импульсов Г5-78 ($t_{фр} = 0.5$ нс), модуля время-цифрового преобразователя П-267, а также цифрового осциллографа LeCroy. Все характеристики приведены для печатной платы накамерного 16-канального усилителя-дискриминатора.

Заключение

Для исследования камер RPC в рамках работ по эксперименту ATLAS (CERN) был разработан накамерный модуль ATL-16LN, содержащий 16 усилителей-дискриминаторов. При тестировании двух типов камер RPC с анодным и катодным съемами зарядов, имеющих различную полярность сигналов, в модуле предусмотрено изменение полярности срабатывания. При помощи переключки вход дискриминатора соединяется либо с прямым, либо с инверсным выходами ПУ.

Порог срабатывания всех 16 усилителей-дискриминаторов модуля задается в диапазоне от $U_{пор}$ до $5 U_{пор}$ подстроечным резистором. Модуль имеет вход тестового сигнала для проверки работоспособности всех 16 каналов одновременно.

Список литературы

- [1] R.Cardarelli et al. Nuclear Instruments And Methods. A333 (1993) 399-403.
- [2] ATLAS Muon Spectrometer Draft 3.0 Technical Design Report, 8 Resistive Plate Chambers, (1997) 227-258.

- [3] Advanced Micro Devices Data Book. 1974, 767.
- [4] Сухов Н.Е., Бать С.Д., Колосов В.В., Чупаков А.Г. Техника высококачественного звуковос-
произведения. – Киев. «Техника», 1985.
- [5] Ammosov V.V. et al. Beam Test Results on Operated in Avalanche Mode RPCs obtained in
April 1996 with ИИЕР Accelerator. Atlas Note, ATL-M-PN-120, Geneva 1996.
- [6] Koreshev V. et al. Operation of Narrow Gas RPC with Tetrafluorethane Based Mixture. Talk
done at 5th International Workshop on Resistive Plate Chambers and Related Detectors, Bari 28-
29 October 1999.

Рукопись поступила 21 декабря 2001 года.

Е.А. Усенко.
Низкопороговый дискриминатор для камер RPC.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Word.
Редактор Н.В. Ежела. Технический редактор Н.В. Орлова.

Подписано к печати. 28.12.2001. Формат 60 x 84/8. Офсетная печать.
Печ.л. 0,87. Уч.-изд.л. 0,7. Тираж 130. Заказ 2. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.1997.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

