

P13-2005-31

Г. Д. Алексеев, В. В. Токменин, А. А. Шишкин

ШЕСТНАДЦАТИКАНАЛЬНАЯ ПЛАТА  
С АНАЛОГОВЫМИ И ЦИФРОВЫМИ  
ВЫХОДАМИ ДЛЯ РАБОТЫ С ГАЗОВЫМИ  
ДЕТЕКТОРАМИ

<p>Алексеев Г. Д., Токменин В. В., Шишкин А. А.  Шестнадцатиканальная плата с аналоговыми и цифровыми  выходами для работы с газовыми детекторами</p>	<p>P13-2005-31</p>
<p>Приводится описание и технические характеристики шестнадцатиканальной платы ADB-16 с аналоговыми и цифровыми выходами, изготовленной на базе микросхем восьмиканальных усилителей AMPL-8.3 и дискриминаторов DISC-8.3, разработанных совместно НИИ ЯП БГУ, Минск, и ОИЯИ, Дубна, для мюонной системы эксперимента D0 (FNAL).</p>	
<p>Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В. П. Дзелепова ОИЯИ.</p>	
<p>Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2005</p>	

Перевод авторов

<p>Alexeev G. D., Tokmenin V. V., Shishkin A. A.  Sixteen-Channel Board ADB-16 with Analog and Digital Outputs  for Application with Gas Detectors</p>	<p>P13-2005-31</p>
<p>The description and characteristics of sixteen-channel board ADB-16 with analog and digital outputs are presented. It is built on the basis of IC of eight-channel amplifiers AMPL-8.3 and discriminators DISC-8.3 developed jointly by the Research Institute for Nuclear Problems of Belarussian State University, Minsk, and JINR, Dubna, for the muon system of D0 experiment (FNAL).</p>	
<p>The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.</p>	
<p>Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2005</p>	

## ВВЕДЕНИЕ

Шестнадцатиканальная аналогово-цифровая плата ADB-16 (Analog-Digital Board) изготовлена на базе микросхем AMPL-8.3 (токовый усилитель) и DISC-8.3 (дискриминатор уровня). Эти микросхемы были специально разработаны для мюонной системы эксперимента D0 (FNAL), где используются в 32-канальной плате ADB-32 (Amplifier-Discriminator Board, около 50000 каналов). В настоящее время платы ADB-32 с небольшими изменениями используются также в эксперименте COMPASS (ЦЕРН) (8500 каналов).

Описываемая плата является продолжением данной линии плат. Она разработана в основном для проведения различных методических исследований детекторов и их стендовых испытаний, создания прототипов установок для новых экспериментов и т. д.

Отличительные особенности этого изделия от предыдущих:

- добавление аналогового выхода с каждого канала;
- приведение цифрового выхода к стандарту ECL.

Аналоговый выход позволяет подключить АЦП для проведения амплитудного анализа. Цифровой выход в ECL-стандарте позволяет непосредственно соединять плату с аппаратурой стандартов NIM, КАМАК и других шинно-модульных систем.

Уменьшение каналов наполовину (до шестнадцати) по сравнению с 32-канальной платой ADB-32 позволило сократить число слоев платы с восьми до четырех, что привело к ее резкому удешевлению, а также возможности производства плат непосредственно в ОИЯИ, что, в свою очередь, привело и к ускорению их выпуска. Это обстоятельство является немаловажным фактором при изготовлении больших партий электронных плат для крупных экспериментальных установок.

### 1. УСТРОЙСТВО, ПРИНЦИП РАБОТЫ ПЛАТЫ ADB-16 И НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Шестнадцатиканальная плата (усилитель-дискриминатор уровней сигналов) выполнена с выходными сигналами в стандарте ECL. Каждый канал имеет аналоговый выход. Плата (рис. 1) состоит из четырех слоев: два внутренних слоя  $\pm$  питания, на обратной стороне расположен слой «земли» и не уместившиеся на лицевой стороне сигнальные проводники задания порога дискриминатора. Плата изготовлена в Опытном производстве ОИЯИ, размеры 175 × 85 мм.

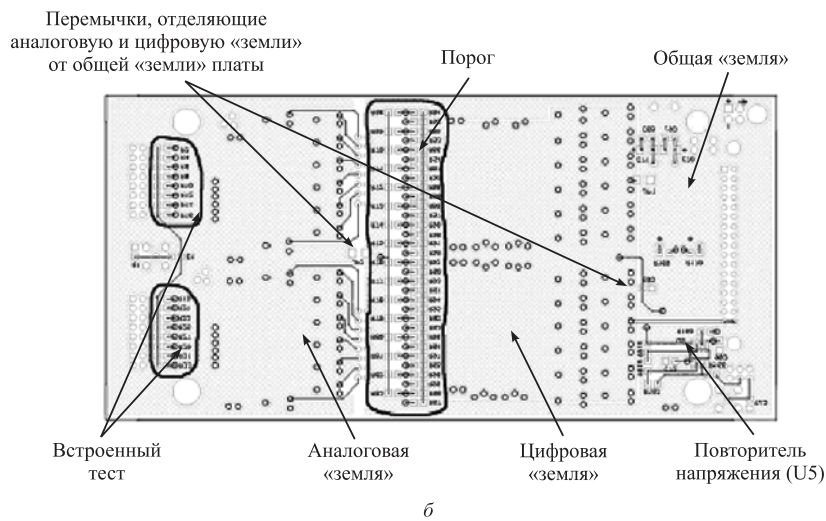
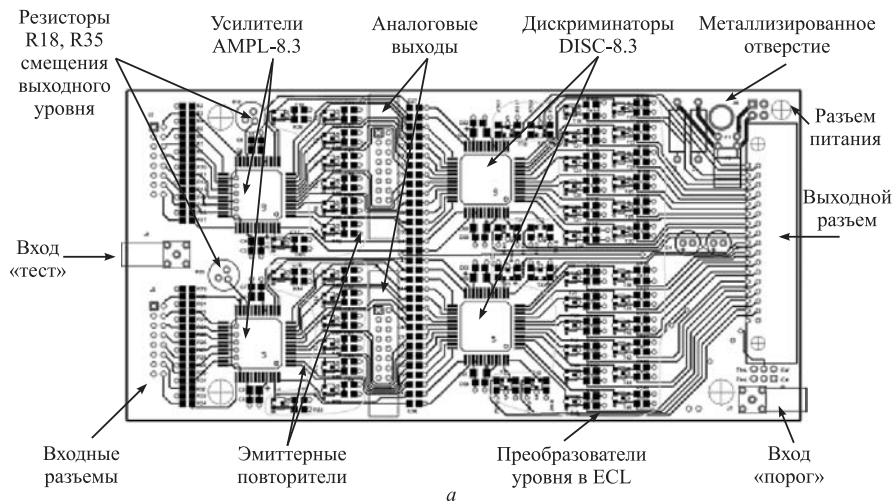


Рис. 1. Плата ADB-16: а) лицевая сторона; б) обратная сторона

Для уменьшения влияния наводок на входы усилителей на плате сделано три «земли»: аналоговая (связана с усилителями AMPL-8.3 [1] и эмиттерными повторителями), цифровая и общая. Аналоговая и цифровая «земли» соединены с общей с помощью нулевых сопротивлений, которые можно заме-

нить на высокочастотные дроссели. Цифровая «земля» находится в середине платы. Вокруг нее расположена общая «земля», соединенная с разъемом питания в одной точке. По бокам платы расположены четыре крепежных отверстия, одно из которых металлизировано. Если схемой включения установки не предусмотрено соединение корпуса с «землей» питания, это отверстие нужно изолировать.

Аналоговый выход выполнен на эмиттерных повторителях Т1 ÷ Т16, связанных гальванически с выходом усилителя. Они подключены к неинвертирующему выходу усилителя.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой используется дискриминатор уровня DISC-8.3 [2]. Пороговое напряжение через делитель сопротивлений R67 ÷ R84 подается в цепь инвертирующего плеча усилителя после разделительных емкостей C27 ÷ C56. Напряжение порогом задается от внешнего источника и через разъем LEMO (J7), повторитель напряжения (U5) подается на делитель сопротивлений.

На выходе дискриминатора сигнал преобразуется в стандартный ECL с уровнями напряжения -1,8; -0,9 В.

Для проверки всего тракта каждого канала на входе платы встроены резисторы R2 ÷ R33 (100 кОм), преобразующие напряжение генератора в ток. Потребление тока платой:

+5 В: 0,26 А;

-5 В: 0,58 А.

## 2. АНАЛОГОВЫЙ ТРАКТ

Восьмиканальный интегральный токовый усилитель AMPL-8.3 имеет входной каскад, выполненный по схеме с общей базой. Выход усилителя дифференциальный. Осциллограмма дифференциального сигнала представлена на рис. 2.

Основные параметры AMPL-8.3:

- $K_{\text{преобр}}$  (на нагрузке 1 кОм), мВ/мкА: 130 (65 мВ/мкА на плечо);
- количество каналов в корпусе: 8;
- полярность входного сигнала:  $\pm$ ;
- входное сопротивление, Ом:  $\approx 50$ ;
- длительность переднего и заднего фронта по уровню 0,1 ÷ 0,9 (входной сигнал 1 мкА), нс: 6;
- $I_{\text{шума}}$  при емкости детектора:
  - $C_{\text{д}} = 0$  пФ, нА: 40;
  - $C_{\text{д}} = 60$  пФ, нА: 60;
- выходная нагрузка, Ом: не менее 1000;
- динамический диапазон (линейный), дБ: 46;

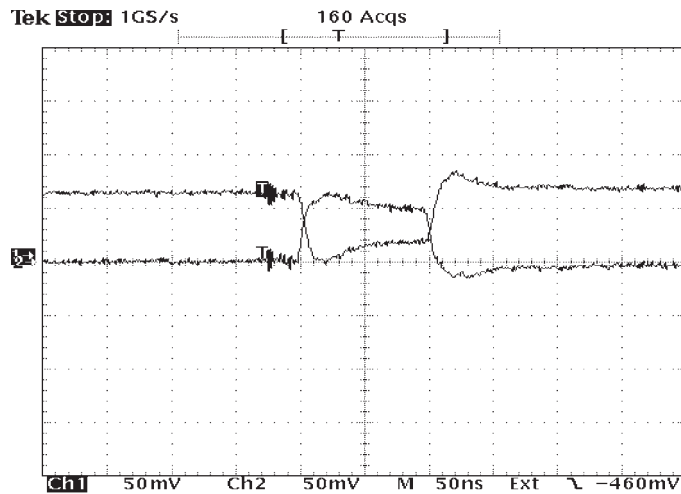


Рис. 2. Осциллограмма дифференциального сигнала на выходе AMPL-8.3; входной импульс 1 мкА

- межканальные помехи, дБ:  $< -51$ ;
- задержка распространения сигнала (вход-выход усилителя), нс: 6;
- рассеиваемая мощность при  $\pm 3 \dots \pm 5$  В, Вт/чип: 0,16–0,64;
- линейность усилителя, мкА: до 25;
- напряжение питания, В:  $\pm 3 \dots \pm 5$ ;
- корпус: пластмассовый 48-выводной 4222.48-2 ГОСТ 17476-88.

Все тесты, приведенные в данной работе, были проведены с прямоугольным импульсом длительностью 100 нс и фронтом  $\sim 1$  нс.

Из рис. 3, 4 видно, что при отрицательном входном импульсе динамический диапазон платы несколько больше, чем при положительном. Это связано с разбалансом по постоянному току на выходе усилителя. Разбаланс можно уменьшить резисторами R18, R35, подключенными для этой цели к тестовому входу усилителя. Полностью убрать разбаланс не всегда удается, потому что он имеет разную величину в каждом канале.

Так как эмиттерный повторитель связан с усилителем гальванической связью, необходимо увеличить входное сопротивление повторителя для большей устойчивости усилителя к самовозбуждению. Для этого выбрано сопротивление резистора в цепи эмиттера 7,5 кОм. При этом выходной ток эмиттера стал недостаточен для передачи точной копии входного сигнала на малых нагрузках ( $50 \div 110$  Ом). Поэтому при снятии аналогового сигнала с выхода повторителя необходимо учитывать падение амплитуды на разной нагрузке.

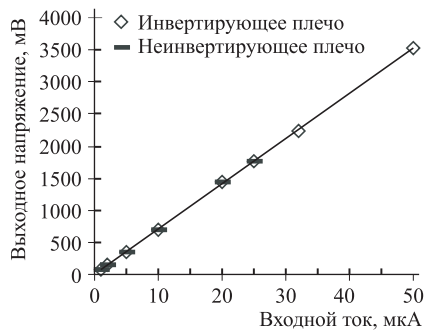


Рис. 3. Динамический диапазон платы при отрицательном входном импульсе

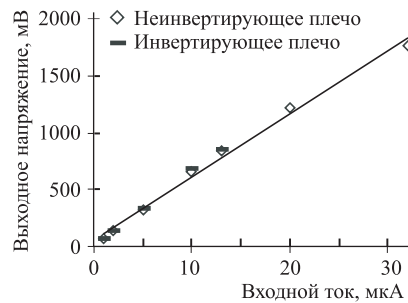


Рис. 4. Динамический диапазон платы при положительном входном импульсе

При  $R_3 = 7,5 \text{ кОм}$  коэффициент пропорциональности ( $K_{пр}$ ) для нагрузки на кабель составляет:

- при  $R_n = 110 \text{ Ом}$  (витая пара)  $K_{пр} = 1,0723x + 29,938$ ;
- при  $R_n = 50 \text{ Ом}$  (коаксиальный кабель)  $K_{пр} = 1,1168x + 39,826$ .

Соответствующие графики представлены на рис. 5.

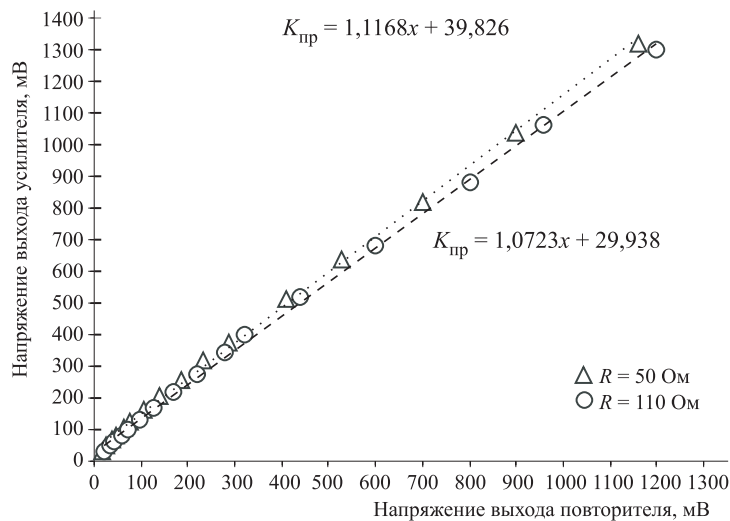


Рис. 5. Зависимости выходных амплитуд сигналов с выходов повторителя и усилителя при нагрузках 50 и 110 Ом

### 3. ЦИФРОВОЙ ТРАКТ

Дискриминатор уровня DISC-8.3 имеет выход с открытым коллектором, что позволяет адаптировать данный дискриминатор под различные стандарты выходных сигналов, например LVDS, ECL и др. [2, 3].

Основные параметры DISC-8.3:

- количество каналов: 8;
- напряжение питания, В:  $\pm 5$ ;
- фронт на выходе дискриминатора при входных сигналах 1/10 мкА соответственно, нс: 2,2/1,8;
- срабатывание при превышении над порогом, мВ: не более 5;
- временная привязка фронта (дрожание, jitter):
  - при минимальном пороге (10 мВ) и минимальном сигнале для 100%-го срабатывания дискриминатора (0,13 мкА), нс:  $\approx 26$ ;
  - при пороге 2,5 мкА для 100%-го срабатывания, нс: 3;
- задержка распространения:
  - при превышении 10 мВ, нс: 14;
  - при превышении 60 мВ, нс: 4;
- выходной ток (max), мА: 3,8;
- потребляемая мощность, Вт: 0,67;
- корпус: пластмассовый 48-выводной 4222.48-2 ГОСТ 17476-88.

Уровень минимально допустимого порога на дискриминаторе — 10 мВ (0,08 мкА — ток, приведенный ко входу усилителя). При этом минимальный входной сигнал ADB-16 равен 0,13 мкА (100%-е срабатывание дискриминатора).

На рис. 6, 7 показана характеристика фронта сигналов на выходном разьеме платы и задержка выходного сигнала относительно входа. Здесь и далее входные импульсы представлены на осциллограммах сверху, а выходные — снизу.

Задержка сигналов «выход дискриминатора – выход платы» менее 1 нс.

Фронт выходного сигнала на выходе платы не зависит от величины входного сигнала и равен 3 нс.

На рис. 8 показан калибровочный график зависимости входного сигнала от уровня порога дискриминатора при условии его 100%-го срабатывания. Измеренные значения для калибровочного графика приведены в табл. 1.

Минимальная длительность сформированного выходного сигнала не превышает 15 нс и растет линейно с входным сигналом (рис. 9). Зависимость длительности выходного импульса от длительности входного линейная во всем диапазоне входных токов и порогов на дискриминаторе.

Минимальное (наилучшее) временное разрешение платы, измеренное между передними фронтами импульсов, равно 35 нс (15 нс — минималь-



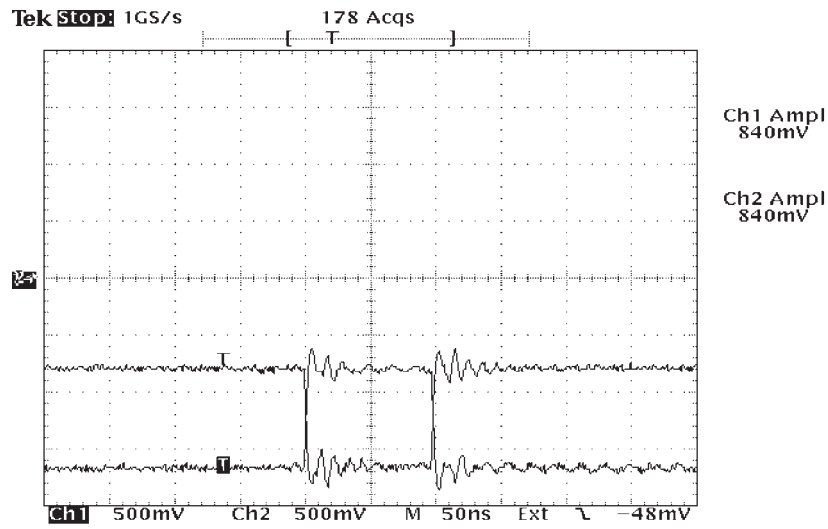


Рис. 6. Осциллограмма дифференциального ECL-сигнала на выходном разъеме платы

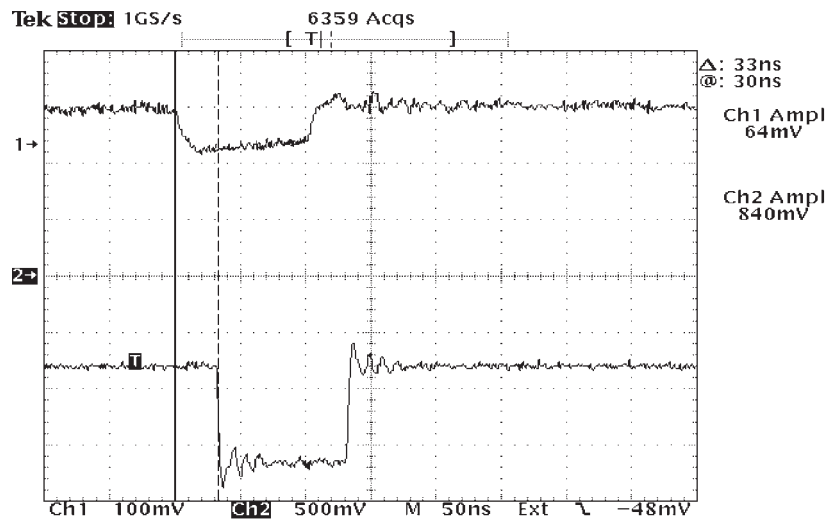


Рис. 7. Осциллограмма характерного времени задержки распространения сигнала (33 нс) при уровне порога 0,5 мкА и входного тока 1 мкА

ная длительность импульса плюс 20 нс — минимальное время между двумя импульсами).

**Таблица 1**

Амплитуда сигнала, мкА	Напряжение порога, мВ (вход дискриминатора)
0,38	50
0,45	60
0,57	80
0,69	100
1	150
1,23	190
1,54	240
1,91	300
2,43	390
3,06	490

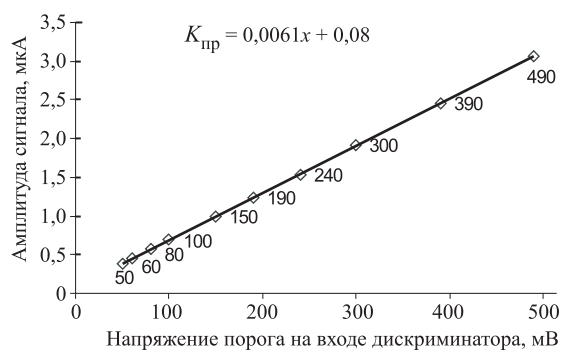


Рис. 8. Зависимость входного тока от напряжения порога на входе дискриминатора

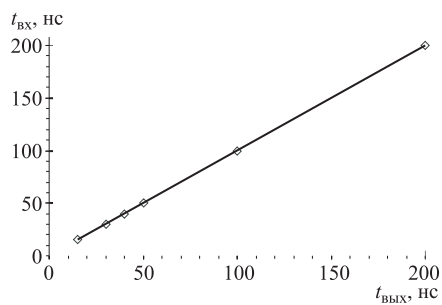


Рис. 9. Зависимость длительности выходного сигнала от длительности входного при  $I_{вх} = 5 мкА$ ,  $I_{пор} = 1 мкА$

Работа дискриминатора в режиме разрешения парных импульсов представлена на рис. 10.

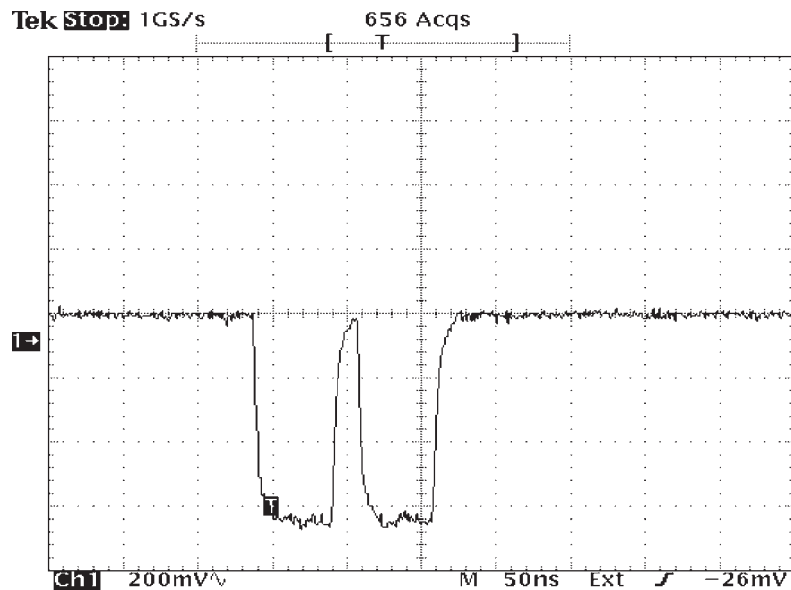


Рис. 10. Осциллограмма разрешения парных импульсов

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ МЕЖКАНАЛЬНЫХ ПОМЕХ (КРОССТОКОВ)

**Методика измерения кросстоков усилителя.** На вход платы с генератора подавался токовый импульс. Измерялась амплитуда выходного дифференциального сигнала в этом канале, а также амплитуда дифференциального сигнала в соседнем канале. Далее по формуле  $20 \log (U_{\text{измер}}/U_{\text{сосед}})$ , где  $U_{\text{измер}}$  — выходное напряжение измеряемого канала,  $U_{\text{сосед}}$  — выходное напряжение соседнего канала, получали значение в децибелах.

Измеренные кросстоки усилителя составляют  $\sim 51$  дБ (рис. 11, 12).

**Методика измерения кросстоков всего канала платы ADB-16.** При подаче на вход платы токового импульса варьированием уровня порога находилось значение (мВ), при котором прекращались срабатывания дискриминатора в соседних каналах. Полученное значение переводилось в ток с использованием коэффициента преобразования усилителя AMPL-8.3 (130 мВ на 1 мкА тока). Затем по формуле  $20 \log (I_{\text{вх}}/I_{\text{вых}})$  вычислялось значение в децибелах.

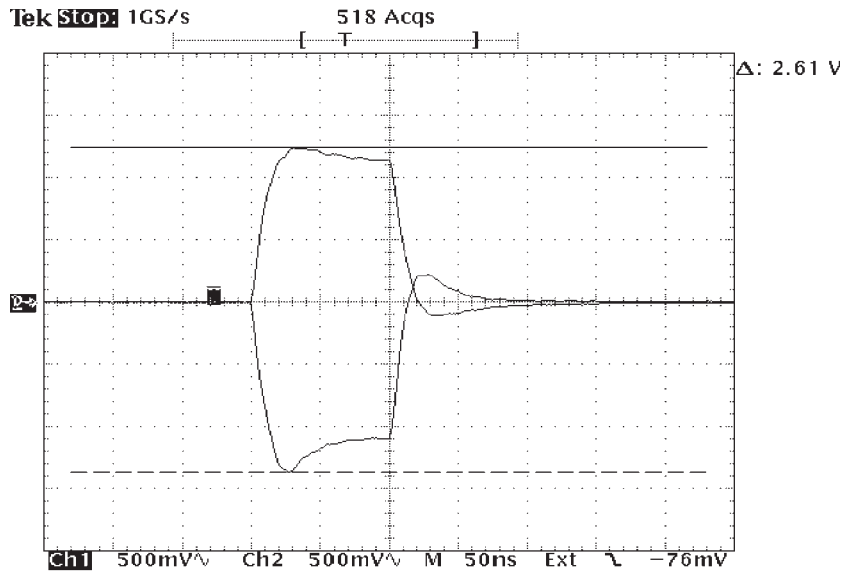


Рис. 11. Амплитуды на выходе усилителя измеряемого канала

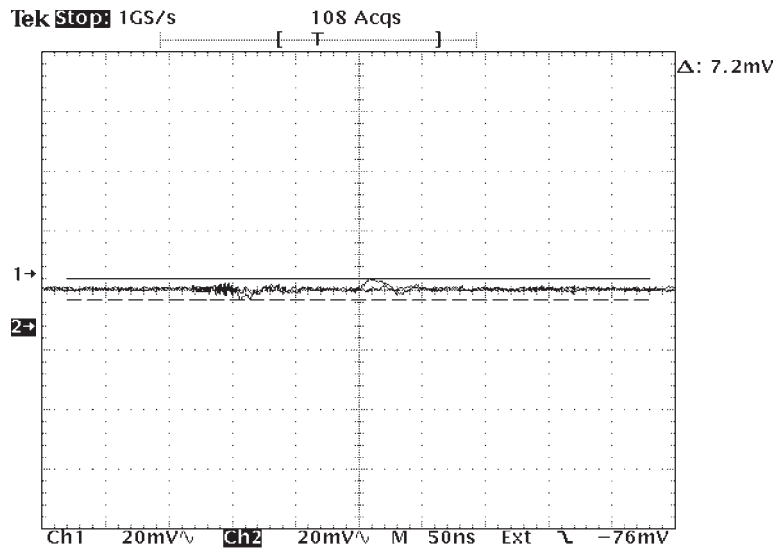


Рис. 12. Амплитуды на выходе усилителя соседнего канала

Измерения кросстоков для всего канала платы ADB-16 (табл. 2) показали, что их уровень зависит от порога и с увеличением порога кроссток уменьшается. Это связано с характеристикой линейности усилителя AMPL-8.3 [1], который начинает насыщаться после  $30 \div 50$  мкА входного тока.

При работе с сигналами, например характерными для проволочных детекторов, кросстоки платы понижаются до  $\sim 66$  дБ.

Наихудшее измеренное значение (47 дБ) кросстока соответствует фактически работе платы на уровне шумов усилителя и близко к уровню кросстока в аналоговом тракте ( $\sim 51$  дБ).

**Таблица 2**

$I_{вх}$ , мкА	$I_{пор}$ , мкА	Уровень кросстоков, дБ
10	0,045	47
100	0,075	62,5
500	0,24	66,4

При больших входных сигналах необходимо учитывать величину порога дискриминатора для того, чтобы исключить ложные срабатывания в соседних каналах из-за кросстоков.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Аналогово-цифровая плата ADB-16 предназначена для использования в системах медленного контроля проволочных детекторов мюонных систем экспериментов D0 (FNAL) и COMPASS (ЦЕРН). Возможны и другие применения этой платы для систем, где необходим анализ амплитудной и временной информации.

Авторы выражают признательность старшему научному сотруднику НИИ ЯП БГУ, Минск, М. А. Батурицкому за внимание к работе и ценные замечания.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Alexeev G. D., Baturitsky M. A., Dvornikov O. V. et al. The eight-channel ASIC bipolar transresistance amplifier DOM AMPL-8.3 // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 462. P. 494–505.
2. Alexeev G. D., Baturitsky M. A., Dvornikov O. V. et al. The eight-channel fast comparator IC // Nucl. Instr. Meth. A. 1999. V. 423. P. 157–162.
3. Alexeev G. D., Baturitsky M. A., Dvornikov O. V. et al. The D0 forward angle muon system front-end electronics design // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 473. P. 269–282.

Получено 22 марта 2005 г.

Редактор *А. Н. Шабашова*

Подписано в печать 22.06.2005.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,86. Тираж 305 экз. Заказ № 54931.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)