



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
им. Г.И. Будкера СО РАН

15

С.А. Вибе

ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНЫЙ АЦП  
С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ  
ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

ИЯФ 93-24



НОВОСИБИРСК



## АЦП82

четырёхканальный АЦП с волоконно-оптической связью  
для микропроцессорных систем

С. А. Вибе

Институт Ядерной физики им. Г.И.Будкера  
630090, Новосибирск 90, Россия

### А Н Н О Т А Ц И Я

Описан специализированный четырёхканальный АЦП для микропроцессорных систем с волоконно-оптической связью между измерительной головкой АЦП и приёмным блоком. АЦП имеет 4 независимых измерительных головки, четыре волоконно-оптических линии связи и общий приёмный блок с независимыми оптическими входами, 4 аналоговыми выходами и одним общим интерфейсом, позволяющим считывать коды из регистров АЦП на одну шину. Кроме этого описан КАМАК вариант данного АЦП. Разрешение АЦП82 170 квантов/ 2мкс на канал

© Институт Ядерной физики им. Г.И.Будкера, СО РАН

### ВВЕДЕНИЕ

На электрофизических установках ИЯФ существует проблема измерения низковольтных сигналов, находящихся под высоким потенциалом относительно «земли» регистрирующей аппаратуры. Ещё одной проблемой являются длинные линии связи между импульсными установками и пультом управления и регистрации, так-как уровень наводок даже на коаксиальный радиокабель может превышать сотню вольт. На сложных установках серьезным вопросом является также прокладка измерительной «земли», из-за токов по «земляным» петлям.

Возможным решением (а зачастую - самым оптимальным) является применение импульсных трансформаторов с минимальной паразитной емкостью связи первичной и вторичной обмоток. Очевидные ограничения - полоса передаваемых сигналов начинается не с нуля и чувствительность к импульсным магнитным полям.

Другим решением проблем передачи аналоговых сигналов является преобразование электрического сигнала в световой и обратно, обеспечивающее таким образом гальваническую развязку. Для измерений на установке «АМБАЛ-Ю» были разработаны, и применяются аналоговые развязки РУ-5 с жестким оргстеклянным световодом [1]. Световая мощность от излучателя в которых просто пропорциональна входному сигналу. При несомненных достоинствах - полоса передачи аналоговых сигналов около 1 МГц, динамический диапазон -  $10^{-3}$ , эта конструкция обладает такими принципиальными недостатками, как долговременная нестабильность «нуля» и ограничение напряжения развязки 40 кВ. Попытка расширить полосу частот РУ-5



неминуемо приведет к ухудшению точности передачи. Как впрочем и в обратную сторону, улучшение точности передачи даст сужение полосы передачи сигнала. Передатчик и приёмник РУ-5 связаны жестким оргстеклянным световодом и трансформатором с витком связи, что определяет напряжение развязки. Увеличение напряжения развязки будет стоить ухудшения полосы частот либо точности развязки.

Данная разработка предназначена для измерений в составе микропроцессорных систем, требующих полную точность  $< 10^{-2}$ , цифрового выходного сигнала и такта измерений сравнимого со скоростью микропроцессора 2 мкс.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТАВЕ И КОНСТРУКЦИИ АЦП

Описываемый АЦП состоит из

- \* измерительной головки - передатчика (ИГ);
- \* одного сигнального (возможно ещё одного управляющего) волоконно-оптического кабеля (ВОК);
- \* приемного блока (приёмника).

ИГ представляет собой прямоугольную коробку размерами  $100 \cdot 80 \cdot 30$  мм<sup>3</sup> со входным разъёмом «ЛЕМО», двумя оптическими разъёмами - выходным (сигнальным) и входным (управляющим) а также разъёмом питания РГ1Н-1-1. Кроме этого на корпусе ИГ имеется индикация включенного питания.

ВОК это собственно волоконно-оптический кабель со штекерными оптическими разъёмами на концах, которые стыкуются с гнездовыми оптическими ответными разъёмами. Оба конца ВОК изготовлены одинаковыми. Длина кабелей определяется допустимым затуханием и может достигать 100 м.

Приёмник существует в двух вариантах:

- в виде отдельной платы для микропроцессорных систем, с четырьмя входными оптическими разъёмами и выходным разъёмом ГРПМ31, через который на плату заводятся питание и цифровые управляющие сигналы, а также выводятся общая шина данных АЦП и четыре аналоговых выходных сигнала;
- в виде 2М КАМАК-модуля, использующего эту же плату, на переднюю панель которого выведены 4 входных оптических разъёма и соответствующие им 4 «ЛЕМО» разъёма для аналоговых выходных сигналов.

#### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АЦП

АЦП82 по сути является АЦП двойного интегрирования, преобразуя напряжение в длительность (ШИМ). На рис. 1а) приведена структурная схема ИГ. Входной сигнал проходит через аналоговый ограничитель амплитуды на уровне максимально обрабатываемого сигнала - 5 Вольт, что защищает ИГ от перегрузок. Затем аналоговый сигнал преобразуется схемой динамического интегрирования [2] в ШИМ сигнал. Непосредственно использовать ШИМ сигнал для модуляции тока СД невыгодно по потреблению тока (для накачки СД необходим ток 100мА), поэтому ШИМ сигнал преобразуется в  $\delta$ -ШИМ сигнал, в котором одному ШИМ такту соответствует два коротких импульса различающихся по длительности: переднему фронту соответствует передний фронт импульса длительностью 30 нс, а заднему - передний фронт импульса 60 нс. В итоге средний ток в СД снижается ~ в 15 раз. Формирователь тока СД обеспечивает необходимые сигналы для накачки СД. Преобразование сигнала в ИГ иллюстрирует рис. 1б).

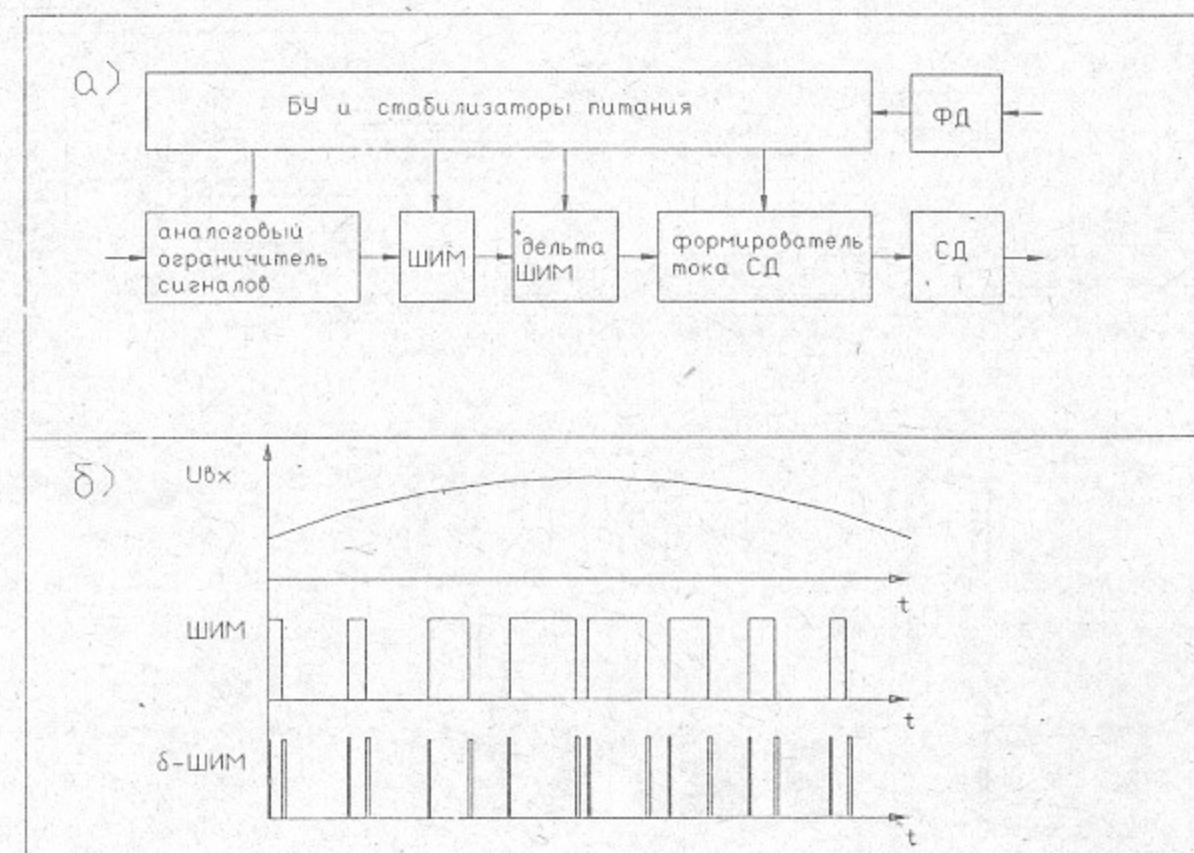


Рис. 1.



Импульсы света из СД ИГ проходят через ВОК и попадают на ФД приёмника. Ток приёмного ФД составляет примерно 30-100 мкА (при 100 мА тока СД). Порог чувствительности входного усилителя приёмника составляет примерно 10-15 мкА и он определяется наводками на ФД и усилитель тока ФД от генератора 100 МГц. Имеющийся запас по сигналу необходим для компенсации деградации самого световода, дополнительной длины кабеля и деградации СД. Структурная схема приёмника показана на рис. 2а).

Ток фотодиода в приёмнике усиливается, затем сигнал проходит через компаратор и восстанавливается в ШИМ сигнал. Восстановление ШИМ сигнала осуществляет адаптивная схема счетчика-делителя на 2, которая через несколько тактов после включения однозначно синхронизируется с длинным импульсом  $\delta$ -ШИМ сигнала. Один такт ШИМ сигнала является тактом АЦП. Длительность импульса оцифровывается счетными импульсами частотой 100 МГц. Получившийся код каждый такт АЦП выводится через ЦАП на разъем «ВЫХОД» и в выходной регистр. Преобразования сигнала в приемнике показаны на рис 2б).

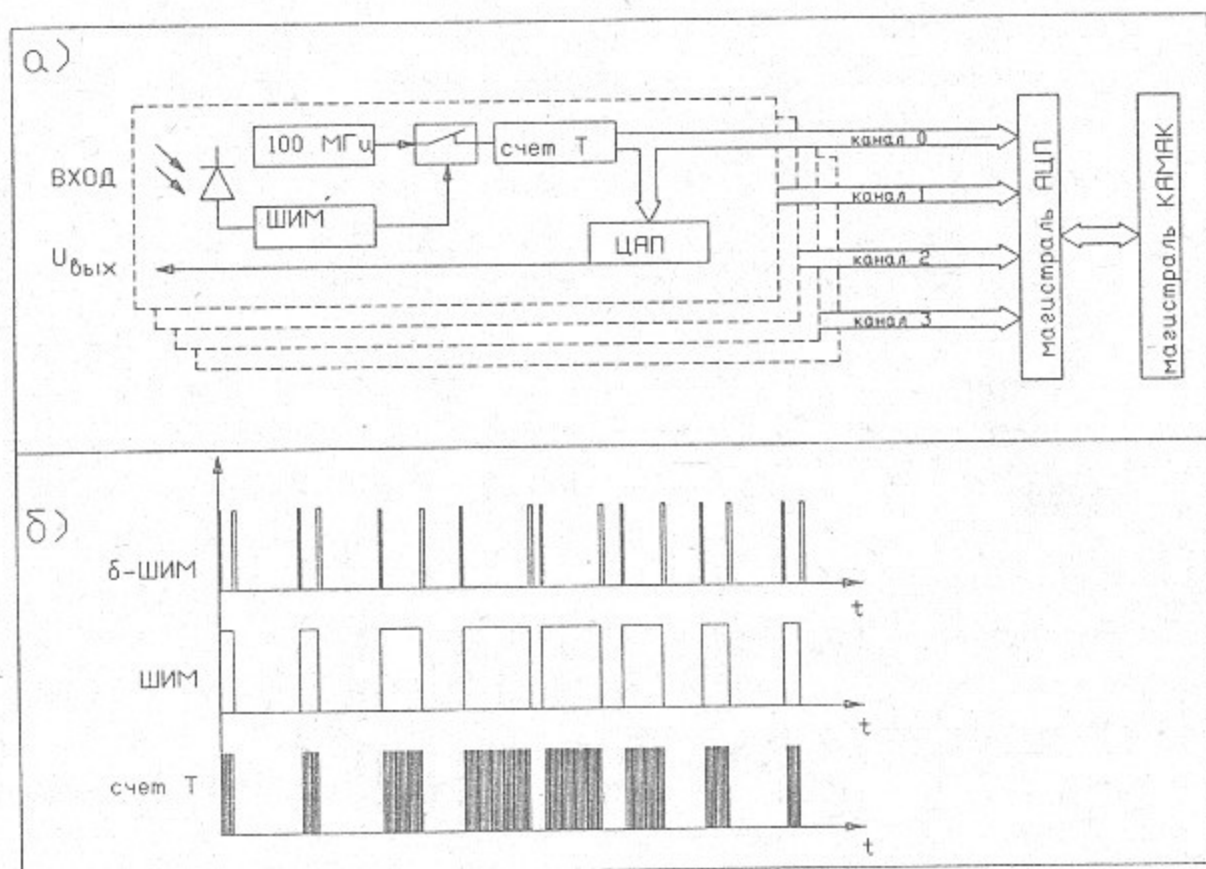


Рис. 2.

## СВОЙСТВА АЦП

**Вход и шкала преобразования.** Входной диапазон напряжений определяется схемой ИГ -  $\pm 5$  Вольт. Входное сопротивление составляет 28 КОм. Диодный ограничитель на входе ИГ защищает ШИМ преобразователь от перегрузок. Превышение сигнала на входе уровня  $\pm 5$  В не нарушает работу АЦП, а код на выходе соответствует входному напряжению  $+5$ В или  $-5$ В. Чтобы диоды ограничителя не вышли из строя напряжение на входе не должно превышать  $\pm 500$  Вольт в импульсе. В таблице 1 показаны свойства шкалы преобразования АЦП82.

**Скорость преобразования.** Значение кода на выходе АЦП соответствует среднему за такт напряжению на входе. При подаче «ступеньки» напряжения максимальной амплитуды на вход АЦП выходит на полную точность  $\sim 3$  такта, соответственно, синусоида максимальной амплитуды оцифровывается с полной точностью за 8-10 тактов на период. Синусоидальный сигнал оцифровывается до полной точности при частотах не превышающих 50 кГц.

Таблица 1

	максимальный входной сигнал	максимальный выходной код	вес кванта	код «0»
АЦП82	$\pm 4.25$ Вольт	$\pm 85$ десят.	50 мВ	100(десят.)

**Нелинейность.** Интегральная нелинейность преобразования не превышает  $\pm 1$  кванта. А дифференциальная нелинейность зависит от скорости изменения входного сигнала. Для медленно меняющихся сигналов, по сравнению с тактом преобразования, она исключительна мала, что характерно для АЦП интегрирующего типа, а для сигналов, приближающихся к предельным по частоте, дифференциальная нелинейность сравнима с половиной кванта. Это происходит из-за особенности динамического интегрирования - начало такта ШИМ сигнала смещено относительно задающего кварцевого генератора в ИГ и это смещение «плавает» в зависимости от обрабатываемого сигнала. То-есть отсчеты расположены со смещением по времени относительно задающего генератора и это смещение меняется от амплитуды входного сигнала, что приводит к дифференциальной нелинейности при достаточно быстро меняющихся входных сигналах.



## РЕГИСТРЫ И РЕЖИМЫ АЦП

Два варианта АЦП82 отличаются только приёмниками - для микропроцессорных систем это отдельная плата с разъёмами а для крейта КАМАК это 2М КАМАК-модуль.

Общим для обоих типов приёмников является наличие 4 выходных регистров, соответствующих 4 каналам АЦП, и мультиплексора, подключающего один из регистров, выбранный в зависимости от кода на двух адресных линиях, к общей магистрали АЦП. Входным для АЦП является сигнал RD (см. таблицу 1., рис. 3), который генерируется микропроцессором либо КАМАК-контроллером (сигнал N) и запрещает смену кода в соответствующем регистре на время чтения. Диаграммы сигналов показаны на рис. 3.

### МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ВАРИАНТ ПРИЕМНИКА

В таблице 2 показана распайка разъёма ГРПМ31.

Таблица 2

1	RD	17	A1
2	OUT0	18	A0
3	OUT1	19	D0
4	OUT2	20	D1
5	OUT3	21	D2
6	+5V	22	5V
7		23	
8	GROUND	24	GROUND
9	GROUND	25	+12V
10	+12V	26	
11		27	D3
12	GROUND	28	D4
13	GROUND	29	D5
14	+5V	30	D6
15	+5V	31	D7
16	-12V		

Внешние устройства должны обеспечить питания  $\pm 12V$  и  $+5V$ , а также выставив сигнал на адресных линиях, подать сигнал RD. Временные требования к сигналам A и RD следующие предустановка адреса  $\tau_2 \geq 40$ нс, удержания до считывания данных RD  $\tau_1 \geq 60$ нс.

## КАМАК ВАРИАНТ ПРИЕМНИКА

Регистры данных. 8-ми битовый регистры, только читаемые командами N.A\*.F0, где \* пробегает значения от 0 до 3. Данные регистра соответствуют выходному регистру АЦП выбранного канала. Для АЦП82 в стандарте КАМАК действительными являются только младшие 8 бит, а остальные нет. Старший бит АЦП соответствует старшему биту регистра. Соответствие кода АЦП входному напряжению описано в таблице 1.

### ФУНКЦИИ КАМАК

- N.A0.F0 чтение данных канала 0 в ЭВМ;
- N.A1.F0 чтение данных канала 1 в ЭВМ;
- N.A2.F0 чтение данных канала 2 в ЭВМ;
- N.A3.F0 чтение данных канала 3 в ЭВМ.

Блок отдаёт сигналы X и Q только при этих командах, при других кодах на шинах F и A сигналы X и Q не выставляются.

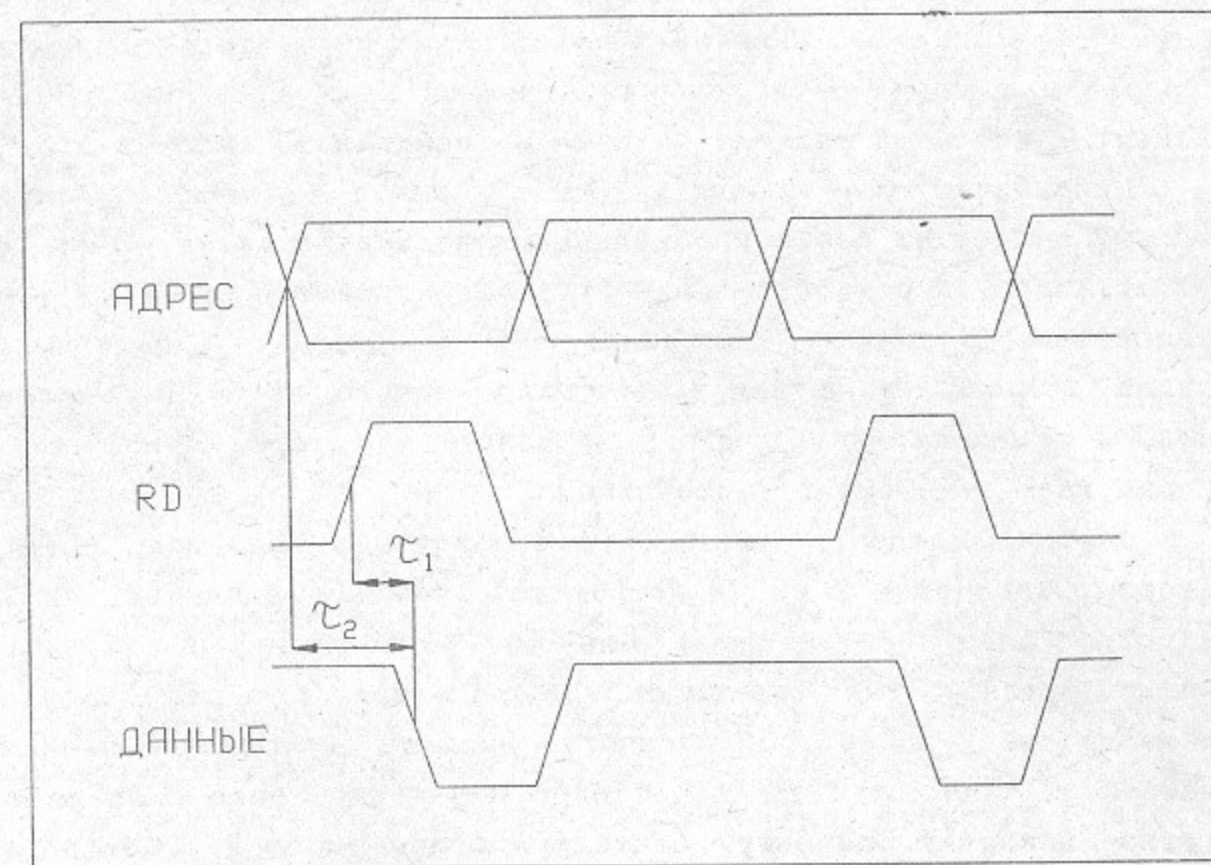


Рис. 3



## ПИТАНИЕ

Схема ИГ содержит все необходимые стабилизаторы и защиту от перенапряжений по входу. ИГ требует однополярного, нестабилизированного источника постоянного напряжения 7 - 18 Вольт. Потребление тока для ИГ АЦП82 не более 40 мА.

Таблица 4

1	+U
2	-U
3	перемычка
4	перемычка

В ИГ предусмотрена возможность питания от батареи из 7 элементов РЦ63, для которых имеется кассета в корпусе. Непрерывной работы ИГ АЦП81 с одним комплектом элементов хватит примерно на 10 часов. Для увеличения срока службы ИГ предусмотрен режим импульсного питания, когда ИГ включается только на время импульса по управляющему ВОК. Время включения питания ~50 миллисекунд. Управляющий сигнал может задаваться светодиодом (СД) АЛ135 с током 20-100 мА (примерно 20 мкВт световой мощности на фотодиод). Сигнал включения может также подаваться перемычкой в разъеме питания - ИГ включена когда 3 и 4 выводы разъема замкнуты. Распайка разъема питания ИГ показана в таблице 4.

Необходимо ещё добавить, что 1 вывод разъема и положительный провод от батареи объединены диодами по схеме «ИЛИ», так что вставленный разъем питания (то-есть вставлена перемычка) при выключенном источнике заставляет ИГ работать на батарее. С другой стороны, если напряжение от внешнего источника питания превышает напряжение батареи (10 Вольт) - батарея отключена, а ИГ работает от внешнего источника.

Опорный элемент. Масштаб преобразования задается стабилизатором напряжения в ИГ, использующим химический элемент РЦ63 в качестве опорного. Опорный элемент расположен в отдельном гнезде футляра для элементов. Потребление тока от опорного элемента на уровне собственного разряда и одного элемента хватает на срок от 1 до 5 лет работы. Предпочтение было отдано ртутно-цинковому элементу, благодаря более высокой стабильности напряжения [3] по сравнению с низковольтными стабилитронами. Суммарная нестабильность этих элементов во всем диапазоне

температур, при 80% разрядке и за время около 1 года не превышает  $10^{-3}$ . Индикатором разрядки опорного элемента может служить изменение масштаба преобразования, что естественно устраняется заменой элемента.

Таблица 5

а)	-5 В	1.2 А	б)	+6 В	1.2 А
	+12В	100 мА		+24В	110 мА
	-12В	70 мА		-24В	75 мА

«Земля» ИГ. Корпус ИГ имеет гальванический контакт с «землей» входного сигнала, которая задается искусственно внутренним стабилизатором ИГ + 2.5 Вольта относительно отрицательного провода питания. То-есть оба провода от источника питания не имеют непосредственного контакта с «землей» сигнала. Импульсные наводки по внешним проводам ИГ на «землю» блокируются конденсаторами, а постоянный ток по «земле» на источник питания компенсируется стабилизатором потенциала «земли» и не должен превышать 2-3 мА.

Питание приемной части АЦП82 естественно от источника крейта КАМАК. Блок требует питания ±12 Вольт. Потребление тока для разных источников приведено в таблице 5.

В КАМАК приёмнике добавлены внутренние преобразователи напряжения ±24 в ±12, так как не все крейты имеют ±12В.

## ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- Оптическими элементами АЦП являются:
- стандартные светодиоды АЛ135А, с панельным гнездовым оптическим разъемом с посадочным размером 2.5 мм;
  - волоконно-оптический кабель (наружный диаметр - 2мм, диаметр кварцевой жилы - 200 мкм, затухание (12-16) дБ/км, длина до 300 м) с оптическими штыревыми разъемами на концах;
  - фотодиоды ФД256, со специальным оптическим гнездовым разъемом идентичным разъему АЛ135А.

Оптические разъемы обеспечивают многократную надежную стыковку светодиодов, волоконно-оптического кабеля и фотодиодов, Типичный коэффициент передачи тока по оптическому каналу:



$$K_I = \frac{\Delta I_{\phi}}{\Delta I_C} = (0.3-1) \cdot 10^{-3},$$

где  $\Delta I_{\phi}$  - приращение тока фотодиода,  $\Delta I_C$  - приращение тока светодиода. Фронт импульса  $\Delta I_{\phi}$ , определяемый постоянной времени АЛ135А, составляет 15-20 нс.

При работе с оптическими элементами необходимо соблюдать некоторые правила - перед стыковкой разъема необходимо протереть мягким, безворсным материалом посадочную поверхность разъема  $\varnothing 2.5$  мм и торец, где выходит кварцевая жила, материал лучше смочить перед протиркой в спирте. Сам оптический кабель довольно прочен, хотя эксплуатация его несколько отличается от использования РК, например, радиус изгиба волоконно-оптического кабеля не должен быть меньше 5 см. Продольные усилия для этого кабеля не должны превышать 1 кг. При прокладке волоконно-оптических линий связи очень полезно использовать армирующие желоба, металлорукава и другие приспособления механически защищающие кабели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин В.С., Вибе С.А. Высоковольтная оптронная развязка повышенной точности. ПТЭ, 1984, №6, с.181.
2. Голубенко Ю.И., Купер Э.А., Леденёв А.В., Смирнов А.В. Аппаратура для многоканальных измерений постоянных напряжений. Автометрия №4, стр.63, «Наука», 1986.
3. Трейер В.В. Электрохимические приборы. М.: «Советское радио», 1978 г., вып. №39.

С.А. Вибе

Четырехканальный АЦП  
с волоконно-оптической связью  
для микропроцессорных систем

ИЯФ 93-24

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

Работа поступила 15 марта 1993 г.

Подписано в печать 16.03. 1993 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 0,9 печ.л., 0,8 уч.-изд.л.

Тираж 180 экз. Бесплатно. Заказ № 24

Обработано на IBM PC и отпечатано

на ротапинтере ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН,

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.