



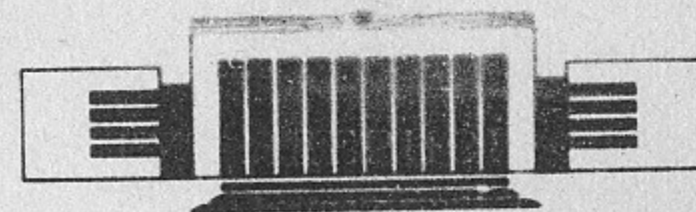
16  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
им. Г.И. Будкера СО РАН

С.А. Вибе

АЦП81 / АЦП105 / АЦП1220

ЦИФРОВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ  
С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ  
МЕЖДУ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКОЙ  
И КАМАК-МОДУЛЕМ

ИЯФ 93-25



НОВОСИБИРСК

АЦП81 / АЦП105 / АЦП1220

цифровые осциллографы с волоконно-оптической  
связью между измерительной головкой и КАМАК-модулем

С. А. Вубе

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

#### АННОТАЦИЯ

Описано три модификации АЦП двойного интегрирования с волоконно-оптическим кабелем (ВОК) связывающим измерительную головку (ИГ) с приемной частью АЦП. АЦП81 - 8 разрядов/ 1 мкс; АЦП105 - 10 разрядов/ 5 мкс; АЦП1220 - 12 разрядов/ 20 мкс.

Приемная часть (приемник) выполнена в стандарте КАМАК имеет память 4096 слов, возможна растяжка шкалы времени до 4 секунд.

© 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. Еще 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.

Кординальным решением вопроса о напряжении развязки был бы переход на волоконно-оптический кабель (ВОК). Но остается вопрос что выбрать максимальную полосу передаваемых сигналов или максимальную точность передачи. Максимальная полоса передачи аналоговых сигналов принципиально определяется излучателями света и выпускаемые промышленно светодиоды АЛ135, например, способны передавать сигналы до 50-70 МГц. Однако полная точность (с учетом всех ошибок) будет <5%.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что универсальной развязки и максимально точной и максимально широкополосной сделать невозможно, и остается либо выбор компромисного решения, либо для каждой задачи иметь необходимую аналоговую развязку.

Данная разработка преследовала цель при неограниченном напряжении развязки, то-есть используя ВОЛС, достичь полной точности измерений  $\pm 0.2 \cdot 10^{-3}$  (АЦП1220), при максимальной скорости передачи сигнала. А так же, иметь возможность, за счет потери точности расширить полосу передаваемых частот.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОСТАВЕ И КОНСТРУКЦИИ АЦП

Комплект АЦП состоит из:

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

ИГ представляет собой прямоугольную коробку размерами 100·80·30 мм<sup>3</sup> со входным разъёмом <LEMO>, 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

совершенно равноценны. Длина кабелей определяется допустимым затуханием и может достигать 100 м.

Приёмник - стандартный 2М КАМАК-модуль, имеющий на передней панели один входной оптический разъём для сигнального ВОК и один выходной разъём <LEMO>, для непосредственного контроля напряжения сигнала с ЦАП. Кроме того вверху панели размещены два индикаторных светодиода : зелёный - обращение к модулю от КАМАК-контроллера, сигнал <N>, красный - сигнал <L>.

Все три модификации АЦП имеют одинаковое конструктивное исполнение. Принципиальные схемы этих АЦП отличаются номиналами нескольких элементов в ИГ, и несколькими переключками в плате приёмника.

Структурная схема АЦП

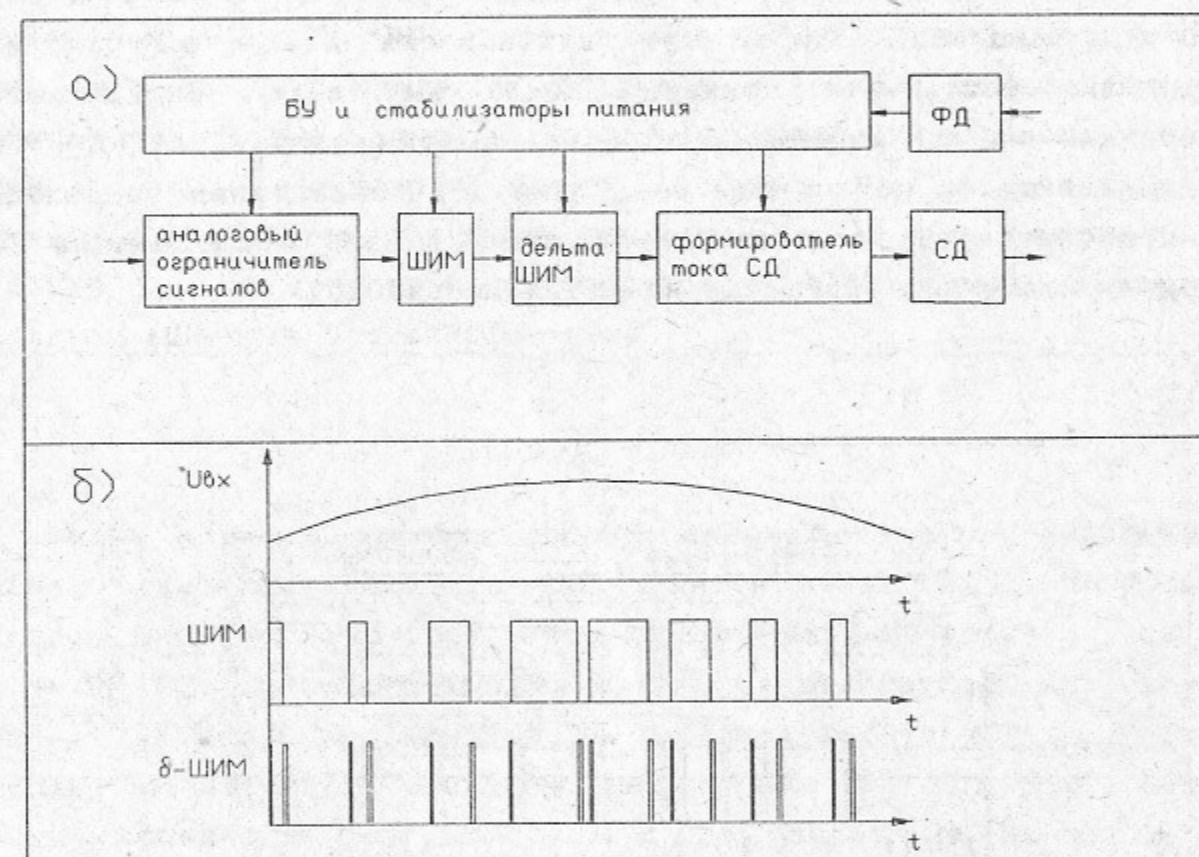


Рис. 1.

Описываемые АЦП по сути являются АЦП двойного интегрирования, преобразуя напряжение в длительность (ШИМ), а длительность затем оцифровывается с помощью счетных импульсов. На рис. 1 приведена структурная схема ИГ. Входной сигнал проходит через аналоговый ограничитель амплитуды на уровне максимально обрабатываемого сигнала  $\pm 5$  Вольт, что защищает ИГ от пере-

грузок. Затем аналоговый сигнал преобразуется схемой динамического интегрирования в ШИМ сигнал [2]. 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 спаду - передний фронт импульса 60 нс. В итоге средний ток в СД снижается ~ в 10 раз для ИГ АЦП81, а для ИГ других АЦП еще больше, что существенно снижает общее токопотребление ИГ. Формирователь тока СД обеспечивает необходимый сигнал для накачки СД.

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 300 МГц. Имеющийся запас по сигналу необходим для компенсации деградации самого световода, дополнительной длины кабеля и деградации СД. Структурная схема приёмника показана на рис. 2а).

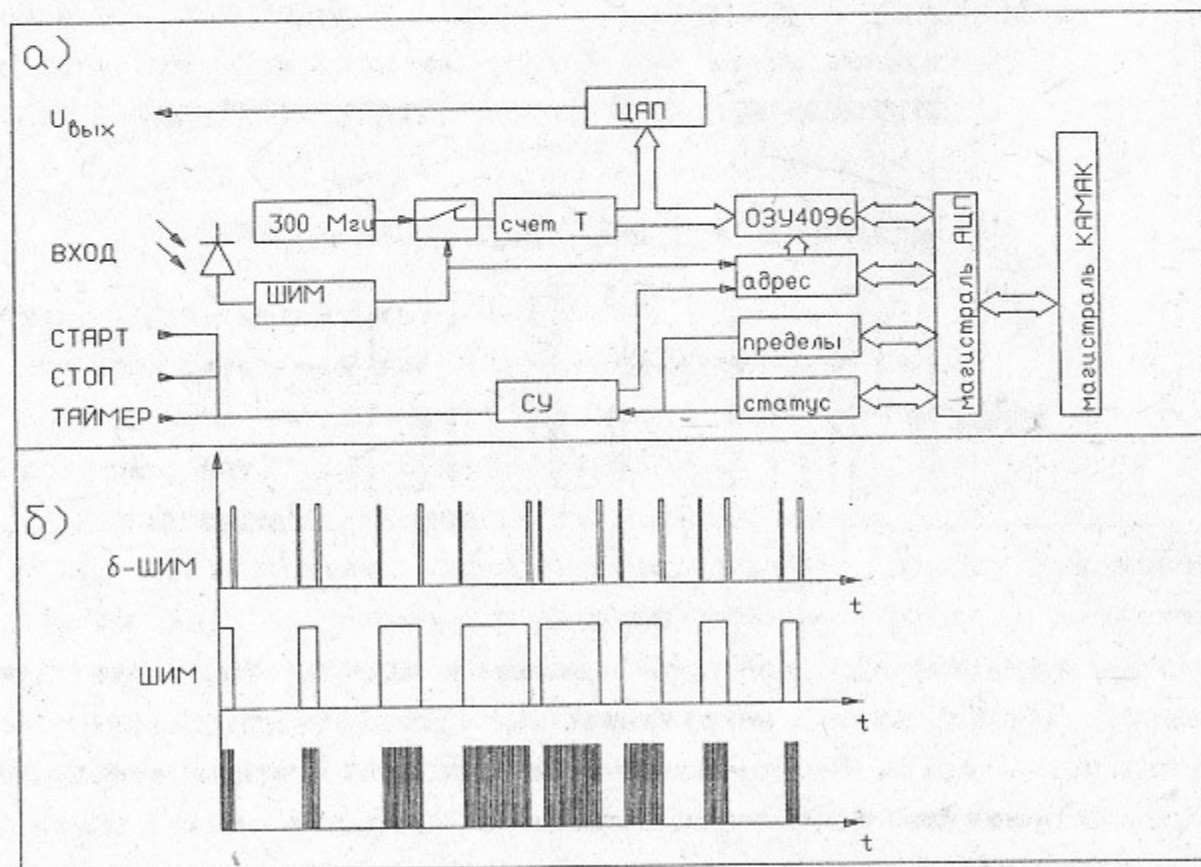


Рис. 2.

Ток фотодиода в приёмнике усиливается, затем сигнал проходит через компаратор и восстанавливается в ШИМ сигнал. Один такт ШИМ сигнала является тактом АЦП. Длительность импульса оцифровывается счетными импульсами частотой 300 МГц. Получившийся код каждый такт АЦП выводится через ЦАП на разъем «ВЫХОД» и записывается в ОЗУ. Адрес ОЗУ автоматически увеличивается на единицу через каждый такт АЦП, либо через несколько тактов в зависимости от выбранного предела по времени (растяжки шкалы времени) либо по каждому импульсу на вход «ТАЙМЕР» если установлен режим внешнего тактирования АЦП. Начало записи ОЗУ инициируется двумя способами - по импульсу на вход «СТАРТ», либо командой от ЭВМ. Существует еще режим самописца, когда ОЗУ заполняется непрерывно, циклически и импульсом на вход «СТОП» можно остановить запись и посмотреть осциллограмму до заданного момента времени. АЦП имеет четыре 12-разрядных регистра - статусный, регистр пределов, адресный и регистр данных. Интерфейсная часть, ОЗУ, регистры и схемы обрания с незначительными изменениями повторяют схемы АЦП серии «S», соответственно и общение с прибором через КАМАК-контроллер совпадает, например, с АЦП101S [3], с точностью до масштаба преобразования. Режимы и регистры АЦП подробно описаны ниже.

#### СВОЙСТВА АЦП

**Вход и шкала преобразования.** Входной диапазон напряжений выбран одинаковым для всех АЦП данного семейства -  $\pm 5$  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 +5В или -5В. Чтобы диоды ограничителя не вышли из строя напряжение на входе не должно превышать  $\pm 500$  Вольт в импульсе. В таблице 1 сведены отличия модификаций по шкале преобразования.

Таблица 1

	максимальный входной сигнал	максимальный выходной код	вес кванта	код «0»
АЦП81	$\pm 5$ Вольт	$\pm 100$ десят.	50 мВ	150(десят.)
АЦП105	$\pm 5$ Вольт	$\pm 500$	10 мВ	750
АЦП1220	$\pm 5$ Вольт	$\pm 2000$	2.5 мВ	3000

**Скорость преобразования.** Значение кода на выходе АЦП соответствует среднему за такт напряжению на входе. При подаче «ступеньки» напряжения максимальной амплитуды на вход АЦП81 выходит на полную точность за 3 такта, АЦП105 и АЦП 1220 - за 4 и 5 тактов, соответственно. Синусоидальный сигнал максимальной амплитуды оцифровывается с полной точностью до частот АЦП81-100кГц, АЦП105- 20кГц и АЦП1220- 2КГц

**Нелинейность.** Интегральная нелинейность преобразования всех трех типов АЦП не превышает  $\pm 1$  кванта. А дифференциальная нелинейность зависит от скорости изменения входного сигнала. Для медленно меняющихся сигналов 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 генератора в ИГ и это смещение «плавает» в зависимости от обрабатываемого сигнала. То-есть отсчеты расположены со смещением 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

**Регистр данных (A0).** 12-и битовый регистр, читаемый и пишущийся командами N.A0.F0 и N.A0.F16. Данные регистра соответствуют ячейке ОЗУ, адрес которой определяется регистром адреса. Для АЦП81 младшие 4 бита являются не действительными, для АЦП105 - младшие 2 бита, а для АЦП1220 все биты действительны. Старший бит АЦП соответствует старшему биту регистра. Соответствие кода АЦП входному напряжению описано в таблице 1.

**Статусный регистр (A1).** Режим работы прибора задается статусным регистром. Статусный регистр состоит из читаемых 12 разрядов, 5 младших из которых можно устанавливать:

- 1 - обращение ЭВМ к ОЗУ
- 2 - запрет L
- 3 - режим SINGLE
- 4 - режим страничной записи
- 5 - режим самописца

#### Разряд 1: «обращение ЭВМ к ОЗУ»

Запись 1 в этот разряд производит сброс триггера режима SINGLE, запрещает прохождение запусков и прерывает запись от АЦП, если она была. Для чтения ОЗУ желательна установка этого бита в 1.

#### Разряд 2: «запрет L»

Если бит 2 установлен в 1, то флаговая логика запрещается и блок становится пассивным.

#### Разряд 3: «режим SINGLE»

В этом режиме (автоблокировка по запускам) прибор воспринимает только первый импульс запуска, а все остальные игнорируются. Автоблокировка снимается (блок переходит в состояние «готов к запуску») следующими способами:

- Установкой и последующим сбросом бита 1 (предпочтительный способ так как это производится автоматически при чтении ОЗУ);
- сбросом и повторной установкой бита 3.

#### Разряд 4: «режим страничной записи»

4 бит установленный в 1 включает страничный режим записи. То-есть вся память АЦП разбивается на 16 страниц по 256 слов каждая и после прихода импульса запуска записывается следующая страница за той которая была загружена в адресный счетчик (запуск вначале переварачивает страницу). После записи адресный счетчик останавливается на начале следующей страницы. Необходимо помнить, что установка бита 4 в 1 не изменяет адресный счетчик и его если это важно нужно устанавливать командой N.A2.F16.

#### Разряд 5: «режим самописца»

Установка этого бита включает режим, но не инициирует запись. Запуск прибора производится обычным путем, либо по передней панели сигналом «START», либо командой N.A5.F16. Прерывается запись либо внешним сигналом «STOP», либо установкой бита 1 статусного регистра.

Таблица 2

код	такт АЦП81	такт АЦП105	такт АЦП1220
#04	1 мкс	*	*
#14	2 мкс	*	*
#24	4 мкс	*	*
#34	5 мкс	5 мкс	*
#05	10 мкс	10 мкс	*
#15	20 мкс	20 мкс	20 мкс
#25	40 мкс	40 мкс	40 мкс
#35	50 мкс	50 мкс	50 мкс
#06	0.1 мс	0.1 мс	0.1 мс
#16	0.2 мс	0.2 мс	0.2 мс
#26	0.4 мс	0.4 мс	0.4 мс
#36	0.5 мс	0.5 мс	0.5 мс
#07	1 мс	1 мс	1 мс
#17	2 мс	2 мс	2 мс
#27	такт от ЭВМ	такт от ЭВМ	такт от ЭВМ
#37	таймер	таймер	таймер

Регистр адреса (A2). 12 бит адресного регистра определяют адрес читаемой ячейки ОЗУ, которая выводится через регистр данных (A0). Адрес автоматически увеличивается на единицу после команд N.A0.F0 или N.A0.F16, и может быть прочитан и записан командами N.A2.F0 и N.A2.F16 соответственно.

Регистр пределов (A3). 12-и битовый регистр в котором 11 младших бит читаются и устанавливаются, а старший 12-й бит - только читается. Этот бит показывает правильность записи пределов по времени, если бит установлен в 1, то пределы заданы неверно, кроме того установка этого бита в 1 блокирует запись озу от преобразователя АЦП. Младшие 5 битов определяют диапазон по времени. Разряд 6 - резервный. В разряды 7-9 необходимо загрузить число #4. Таким образом в регистр пределов должно быть записано восьмеричное число #4XX, где XX определяется по табл. 2

Регистр информации. Этот регистр только читаемый. В младших 4 разрядах отдается код типа прибора:

#16 - АЦП81

#17 - АЦП105

#15 - АЦП1220

Разряд 5 - индицирует запись ОЗУ от ЭВМ.

Разряд 6 - АЦП готов к запуску в режиме SINGLE.

## ФУНКЦИИ КАМАК

N.A0.F0 чтение ОЗУ в ЭВМ;  
 N.A1.F0 чтение статусного регистра;  
 N.A2.F0 чтение текущего адреса;  
 N.A3.F0 чтение регистра пределов;  
 N.A4.F0 чтение дополнительной информации;  
 N.A0.F8 проверка L;  
 N.A0.F10 сброс L;  
 N.A0.F16 запись ОЗУ от ЭВМ;  
 N.A1.F16 запись в статусный регистр;  
 N.A2.F16 запись в адресный регистр;  
 N.A3.F16 запись в регистр пределов;  
 N.A5.F16 запуск прибора от ЭВМ;  
 N.A6.F16 запись 1 слова в ОЗУ от АЦП по команде ЭВМ.  
 При F8, F10 Q=L, для всех остальных функций Q=1.

## 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 следующие:

Таблица 3

АЦП81	≤ 50 мА;
АЦП105	≤ 30 мА;
АЦП1220	≤ 20 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 разъёма и положительный провод от батареи объединены диодами по схеме «ИЛИ», так что вставленный разъём 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 РЦБЗ 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 [4] по сравнению с низковольтными стабилитронами. Суммарная нестабильность этих элементов во всём 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

+6 В	1.5 А
-6 В	1.0 А
+12В	50 мА
-12В	100 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 2-3ма.

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

## ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ АЦП

Оптическими элементами АЦП являются:

- стандартные светодиоды АЛ135А, с панельным гнездовым оптическим разъёмом 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 разъёмами на концах;
- фотодиоды ФД256, со специальным оптическим гнездовым разъёмом идентичным разъёму АЛ135А.

Оптические разъёмы обеспечивают многократную надёжную 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 разъёма необходимо протереть мягким, безворсным материалом посадочную поверхность разъёма  $\varnothing 2.5$ 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 1кг. При прокладке волоконно-оптических линий связи очень полезно использовать армирующие желоба, металлорукава и другие приспособления механически защищающие кабели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин В.С., Вилбе 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. Батраков А.М., Козак В.Р., Кругляков М.Э. Регистраторы формы импульсных сигналов серии «S». Препринт 88-98, ИЯФ СОРАН, г.Новосибирск.
4. Трейер В.В. Электрохимические приборы. М.: «Советское радио», 1978 г., вып. N39.

*С.А. Вибс*

**АЦП81 / АЦП105 / АЦП1220**

**цифровые осциллографы с волоконно-оптической  
связью между измерительной головкой  
и КАМАК-функцией**

**ИЯФ 93-25**

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 1,1 печ.л., 0,9 уч.-изд.л.

Тираж 180 экз. Бесплатно. Заказ N 25

---

Обработано на IBM PC и отпечатано

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

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.