

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3554/82

2/viii-82

13-82-279

+

Ю.И.Романов

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ
В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ
ИСТОЧНИКОМ "ПОЛЯРИС"

Направлено в журнал "Приборы и техника
эксперимента"

1982

Создание, совершенствование и эксплуатация многих современных электрофизических установок, различные устройства которых находятся под высоким и сверхвысоким потенциалом относительно земли, неразрывно связаны с совершенствованием каналов передачи сигналов управления на эти устройства. Контроль функционирования и управление работой ионного источника, установленного на форинжекторе синхрофазотрона ОИЯИ, сопряжены с определенными трудностями: а/ источник ионов находится под потенциалом ~ 700 кВ относительно земли; б/ передачу и прием информации затрудняют мощные радиочастотные помехи, сопровождающие работу форинжектора.

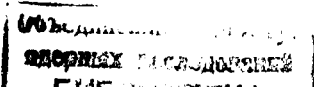
Общим принципом устранения влияния внешних помех на тракт передачи сигналов управления является существенное разнесение спектров сигналов носителя информации и возмущающего воздействия. Широко известны беспроводные линии связи с использованием радио^{1/} или светового канала^{2/}.

В настоящее время перспективным и, пожалуй, единственным направлением в создании скоростных и высоконадежных каналов передачи является использование волоконно-оптических линий связи /ВОЛС/. Основные преимущества ВОЛС следующие: высокая помехоустойчивость, большая пропускная способность, идеальная гальваническая развязка, взрывобезопасность, малые габариты и вес. К тому же за последнее время был достигнут значительный прогресс в области технологии создания элементов волоконной оптики^{3/}. Получены стеклянные волокна, имеющие затухание менее 1 дБ/км при малом диаметре волокна /десятки микрометров/, с полосой пропускания в сотни мегагерц, появились довольно мощные малогабаритные излучатели и малощумящие фотоприемники. Системы связи, использующие эти компоненты, работают на частотах до 1 ГГц^{4/}.

Для решения задачи управления работой ионного источника, находящегося на высоковольтном терминале, элементная база ВОЛС должна отвечать определенным требованиям.

1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОСНОВНЫМ КОМПОНЕНТАМ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ И ИХ МОНТАЖУ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАНАЛОВ ВОЛС

Оптические генераторы, используемые в световодных системах передачи информации, должны быть в высокой степени надежными



приборами. Кроме того, они должны быть совместимы с волоконными световодами. Здесь можно использовать генераторы как когерентного, так и некогерентного излучения. Когерентные источники можно использовать как с одно-, так и с многомодовым волокном, в то время как некогерентные - только с многомодовым. Светодиоды, пригодные для использования в световодных системах передачи, должны иметь определенный спектральный диапазон, высокую энергетическую яркость, малую инерционность, стабильность и долговечность. Положительным качеством светодиода, по сравнению с лазерами, является легкость получения аналоговой модуляции. Она возможна потому, что зависимость между выходной мощностью излучения и входным током у светодиода линейна в широком диапазоне. При использовании импульсной модуляции следует учитывать, что светодиод работает в более напряженном режиме, поскольку его рабочая точка сдвигается в область, где обычно преобладают тепловые эффекты.

Фотодетекторы, осуществляющие демодуляцию оптических сигналов в системах с ВОЛС, должны иметь следующие технические данные:

- а/ высокую чувствительность на длине волны излучения оптических генераторов;
- б/ высокое быстродействие, обеспечивающее нужную скорость приема данных;
- в/ минимальный шум, вносимый детектором в работу системы;
- г/ высокую термостабильность рабочих характеристик;
- д/ совместимость детектора со световодом и другими электронными устройствами ВОЛС.

Этим требованиям в большинстве случаев отвечают кремниевые рп-фотодиоды, работающие на уровнях обратного смещающего напряжения.

Оптические волокна, используемые для построения ВОЛС, должны иметь малое затухание и высокую механическую прочность, что обеспечивается при применении моноволоконных оптических кабелей. Чтобы обеспечить передачу от светодиода в волокно возможно большей мощности излучения, необходимо использовать многомодовое волокно с большой числовой апертурой^{1/5}. Излучение светодиода, будучи некогерентным, содержит много пространственных мод. Число пространственных мод, которое может быть передано от источника в волокно, всегда равно числу мод волокна.

Жгутовые кабели, имеющие большой коэффициент затухания и высокую механическую прочность, используются преимущественно для изготовления коротких /фотонных/ линий связи.

Оптические соединители и световод образуют светопроводящую кабельную сборку, которая обеспечивает передачу света между передающим и приемным блоками. Основные потери световой энергии происходят в контактных устройствах ввода и вывода света, в передающих и приемных блоках, а также в самом световоде. В связи с этим оптический соединитель должен, во-первых, обеспечить необходимую юстировку оптических осей, так как несовпадение осей сопрягаемых волокон вызывает большие потери, во-вторых, не должно быть углового отклонения и зазора между торцами соединяемых кабелей. Помимо этого необходимо, чтобы оптический соединитель был согласован с кабелем по механическим и оптическим параметрам и перед подключением соединителя не требовалось бы сложной подготовки кабеля^{/4/}.

К монтажу оптоприемника в целом предъявляются высокие требования. И особенно к входному каналу, так как он в значительной степени определяет уровень наведенных электромагнитных помех и шума на входе детектора, который искажает сигнал и ухудшает работу системы. В описываемых ниже оптических приемниках прямого детектирования существует несколько таких источников шума, связанных с процессами детектирования и усиления. Основные - шум темнового тока и тока поверхностной утечки, а также квантовый шум. Первые проявляются в виде дробового шума, который описывается распределением Пуассона. Эти шумы могут быть уменьшены путем соответствующего конструирования и изготовления детектора и активных элементов электронного усилителя. Однако квантовый шум, возникающий из-за собственных флуктуаций числа возбуждаемых светом носителей, является фундаментальным и накладывает принципиальные ограничения на чувствительность приемника ВОЛС^{/8/}.

С учетом изложенных требований были созданы и успешно прошли испытания шестиканальные электронные блоки двух ВОЛС различного назначения:

1/ с полосой пропускания канала 0 ± 4 МГц - для целей управления источником поляризованных ионов "Полярис"^{/7/}, находящимся на высоковольтном терминале форинжектора синхрофазотрона;

2/ с полосой пропускания канала 0 ± 10 МГц - для передачи сигналов телеметрии источника.

Каналы ВОЛС осуществляют функцию "ввода-вывода" цифровой информации.

Блок-схема канала ВОЛС приведена на рис.1. Цифровая информация /ЦИ/ через преобразователь уровней /ПУ/ поступает в модулятор /М/ передающего модуля. В качестве передатчика служит светоизлучающий диод /СИД/, излучение которого модулируется входным сигналом. Модулированный луч света через оптический разъем /ОР/ вводится в волоконно-оптический кабель /ВОК/ для переноса информации на приемную часть схемы.

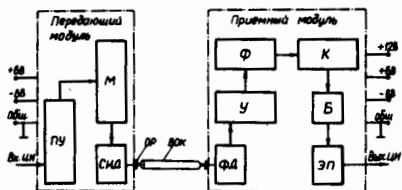


Рис. 1

В приемном модуле фотодетектор /ФД/ преобразует модулированные сигналы в фототок. Усилитель /У/ преобразует фототок в напряжение, достаточное для возбуждения компаратора /К/. Последний генерирует сигналы уровня TTL, воспроизводящие первоначальную цифровую информацию. Через буферное устройство /Б/ она поступает через эмиттерный повторитель /ЭП/ на выход приемного модуля. Фильтр /Ф/ служит для устранения возможных шумовых составляющих в спектре сигнала.

Все ступени оптоприемников имеют связь по постоянному току, так как приемники предназначаются для сигналов со спектром от нулевой частоты до 1-10 МГц. Это важно, поскольку позволяет системам ВОЛС работать с неизвестными форматами данных.

Схемы электронных блоков ВОЛС рассматриваются в соответствии с разделением на передающую и приемную части, а также линии связи.

Схемы электронных блоков ВОЛС рассматриваются в соответствии с разделением на передающую и приемную части, а также линии связи.

2. 6-КАНАЛЬНАЯ ВОЛС С ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ КАНАЛА 0 ± 1 МГц

Принципиальная схема передающего модуля /один канал/ приведена на рис.2.

Передатчик /модуль типа 6ПДС-01/* рассчитан на подключение цифровых сигналов с уровнями TTL или NIM. При работе с последним согласование уровней логической интегральной схемы /МС-1/ производится с помощью схемы сопряжения /Т1, Т2, Т3/. Модулятор оптического передатчика построен на базе эмиттерного повторителя /Т4/. Светодиод с токоограничивающим резистором R7 служит нагрузкой модулятора. Для увеличения скорости переключения светодиода резистором R6 задается ток смещения. Использование последовательной схемы возбуждения излучателя дает определенные преимущества: во-первых, позволяет свести к минимуму потребляемый от источника питания ток; во-вторых, заземление катодного вывода излучателя заметно превышает тепловой КПД светодиода.

При использовании пятиметровой линии связи ток возбуждения в импульсе достигает величины 90 ± 120 мА. Он подбирается таким

* 6 светопередатчиков в модуле, номер разработки - первый /шифр автора/.

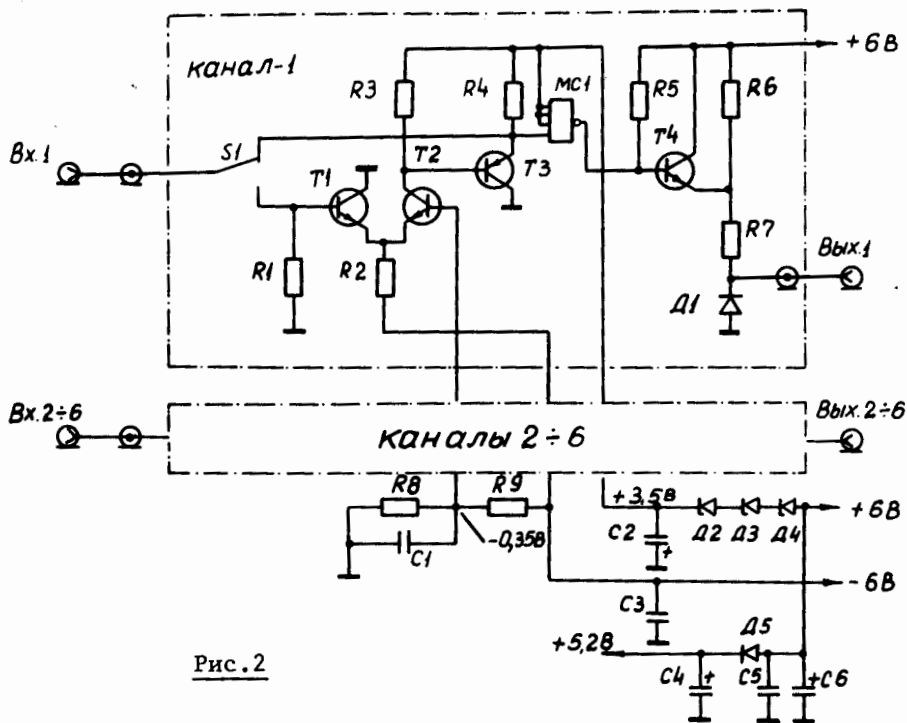


Рис. 2

образом, чтобы световой поток на входе оптоприемника был достаточен, а искажения импульсов на выходе - минимальны. Источником инфракрасного излучения в передатчике ВОЛС служит арсенид-галлиевый светодиод типа АЛ107^{18/}. Он имеет сравнительно узкий спектр излучения $0,9 \pm 1,2$ мкм, прост и надежен в эксплуатации, а конструктивное исполнение таково, что позволяет получить удовлетворительное согласование с волоконно-оптическими кабелями большинства типов. Прибор выдерживает температуры, характерные для большинства электронных систем, и имеет срок службы, измеряющийся при правильной эксплуатации годами. Главным препятствием на пути к широкому использованию светодиодов этого типа для ВОЛС являются невысокая рабочая частота, шумоподобный характер излучения и сравнительно малая мощность, которая может быть передана с их помощью в волоконно-оптический кабель. Мощность излучения этих устройств имеет порядок $1 \div 10$ мВт, однако большая часть этой мощности не может быть принята волоконно-оптическим кабелем из-за несовпадения по площадям и режимам излучения. Несмотря на недостатки, перечисленные выше, доступность приобретения и использования делают

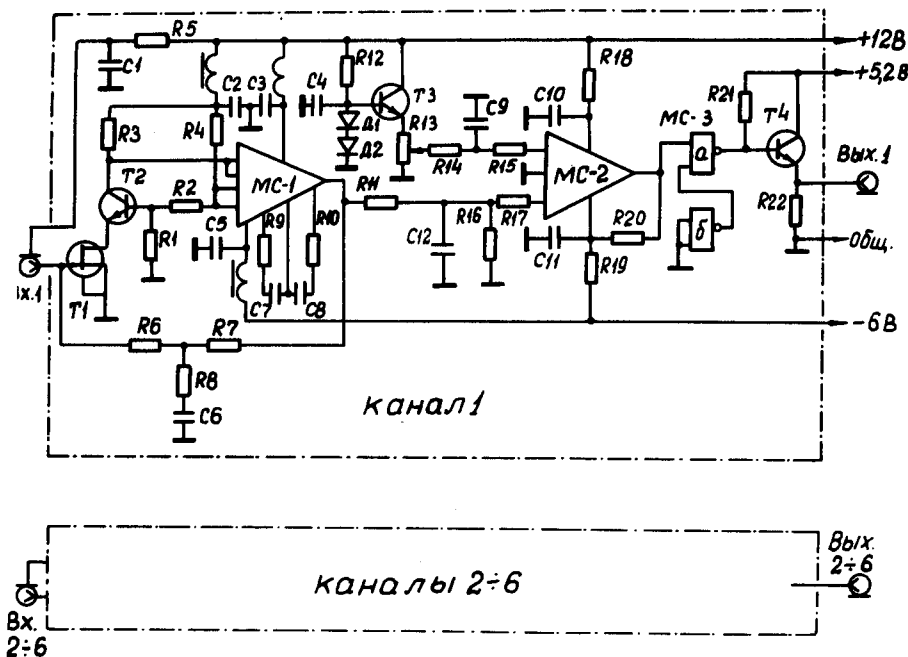


Рис. 3

целесообразным применение этих диодов для создания передатчиков ВОЛС на короткие расстояния. Принципиальная схема приемного модуля /один канал/ приведена на рис.3.

Оптоприемник /модуль типа 6 ПМС-01/* Чтобы обеспечить широкий динамический диапазон и низкий уровень шумов, в основу электрической схемы положен трансимпедансный усилитель^{8/}. Он состоит из малошумящего предусилителя /Т1, Т2/, выполненного по каскодной схеме с полевым транзистором на входе, и широкополосного усилителя /МС-1/. Все устройство охвачено отрицательной обратной связью /о.о.с./. Полевой транзистор с каналом n-типа КП303Г^{8/}, электродвижущая сила шума которого составляет 30 нВ/Гц /при $U_{си} = 10$ В, $U_{зи} = 0$, $f_0 = 20$ Гц/, определяет общую шумовую характеристику фотодетектора с усилителем. Отрицательная обратная связь стабилизирует рабочую точку. Кроме того, она позволяет уменьшить входную емкость предусилителя с одновременным снижением электрического сопротивления

* 6 светоприемников в модуле, номер разработки - первый /шифр автора/.

нагрузки со стороны полевого транзистора*. Малое входное сопротивление трансимпедансного усилителя представляет собой идеальную нагрузку для кремниевого детектора. Оно обеспечивает необходимую линейность и позволяет увеличить быстродействие фотодиода, поскольку в этом случае исключается влияние его емкости. Трансимпедансный усилитель работает как преобразователь тока в напряжение. Он дает на выходе напряжение, равное по своему значению току фотодетектора, умноженному на величину сопротивления обратной связи. Частотная характеристика при импульсном характере изменения силы света источника в основном определяется резистором обратной связи ($R_6 + R_7$) и величиной паразитной емкости между входом и выходом усилителя. С уменьшением сопротивления о.о.с. соответственно уменьшается постоянная времени, а следовательно, увеличивается полоса пропускания. Коррекция величины о.о.с. в области низких частот производится блокировочной R_8C_6 -цепочкой. Ее параметры выбраны так, чтобы уменьшить коэффициент о.о.с. на частоте $f_H = 100$ Гц примерно в 10 раз. Верхняя граница частотной характеристики определяется крутизной переходной характеристики используемого операционного усилителя /К140УД5Б/. Коэффициент усиления на частоте $f = 1$ МГц равен 680, дрейф составляет ~ 10 мВ за 8 часов работы. При работе с передатчиком ВОЛС на 1 МГц по этой схеме отношение сигнал/шум составляет 25:1. Для устранения шумовых составляющих сигнал с выхода усилителя пропускается через фильтр нижних частот (R_{11}, C_{12}) с верхней граничной частотой $f = 1$ МГц, затем подается на однополюсовое сравнивающее устройство. Компаратор /МС-2/ фиксирует превышение входным сигналом заданного уровня и формирует на выходе сигнал положительной полярности уровня TTL. Инвертор на интегральной схеме /МС-3/, включенной между компаратором и эмиттерным повторителем /Т4/, служит для нормализации фронтов выходных сигналов компаратора, представляемых уровнями напряжения постоянного тока. Параметрический стабилизатор на транзисторе Т3 используется для ослабления влияния температурной и временной нестабильности источника питания на сравнивающее устройство. Он позволяет уменьшить погрешность, возникающую за счет изменения напряжения смещения на входе компаратора.

Линия связи. Передача света между передающим и приемным блоками обеспечивается светопроводящей кабельной сборкой.

* Усилитель с разомкнутой петлей о.о.с. имеет коэффициент усиления K , входное сопротивление $R_{вх}$, при замкнутой петле - входное сопротивление уменьшается и становится равным $R'_{вх} = R_{вх} / K$. Это сопротивление, являющееся нагрузкой фотодиода, обычно имеет величину $10 \div 50$ Ом.

Она состоит из световода и двух электрооптических соединителей /рис.4/:

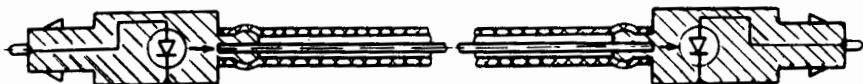


Рис.4

1. В качестве световода использовано моноволоконное оболочечное многомодовое световолокно отечественного производства. Диаметры световода и сердечника составляют 150 и 60 мкм соответственно. Числовая апертура $> 0,2$. Коэффициент затухания на длине волны 0,85 мкм составляет ~ 13 дБ/км.

2. Присоединение световода к передатчику и приемнику производится с помощью электрооптических соединителей, изготовленных с использованием деталей высокочастотных электрических разъемов LEMO, внутри которых смонтированы источник света, фотоприемник и элементы сопряжения. Заделка моноволокна в соединителе производилась по известной методике ^{4/}. Потери мощности излучения в кабельной сборке составили около 2 дБ.

3. 6-КАНАЛЬНАЯ ВОЛС С ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ КАНАЛА $0 \div 10$ МГц

При создании системы использовались коммерческие компоненты ВОЛС фирмы SUNNER /Австрия/^{10/}.

В передатчике /модуль типа 6ПДС-02/^{*} использован светодиод серии 9823.02A^{10/10/}, изготовленный из арсенида-фосфида галлия. Он установлен в гнездовой части опоразъема на рамке выводов из медного сплава /крепление за кристалл/ для сведения к минимуму температуры перехода и обеспечения длительного срока службы. Для улучшения ввода света в волоконно-оптический кабель световод содержит небольшую оптическую линзу.

В оптоприемнике /модуль типа 6ПМС-02/^{**} использован фотодиод серии 9824.02A^{10/10/}. Кристалл фотодиода установлен в гнездовой части опоразъема и закреплен на изолированном держателе при помощи прозрачной эпоксидной смолы. Совмещение активной пло-

^{*} 6 светопередатчиков в модуле, номер разработки - второй /шифр автора/.

^{**} 6 светоприемников в модуле, номер разработки - второй /шифр автора/.

щадки фотодиода с сердечником волокна оптимизируется при помощи небольшой оптической линзы.

В качестве линии связи использовался 5-метровый жгутовый оптический кабель серии 9821.05A¹⁰; диаметр жгута 2,2 мм; количество волокон - 61; затухание 25 дБ на 100 м. Он заключен в гибкую пластиковую оболочку, ограничивающую минимальный радиус изгиба кабеля и предотвращающую возможность поломки отдельных волокон. Оба конца кабеля имеют соединители. Последние состоят из штекеров со стяжными гайками. В свою очередь, гнездовые части опторазъемов передатчика и приемника имеют стяжные резьбы. Применение оптических линз в гнездовых частях опторазъема позволило фирме SUHNER использовать менее жесткие допуски на продольное смещение штекеров соединителей. Так как линзы фокусируют свет, половинки опторазъема обеспечивают достаточно хорошую передачу сигнала даже при зазоре между ними в 6±8 мм.

Таблица

Основные показатели		ВОЛС-1	ВОЛС-2
а) длина линий, м		5	5
б) частота макс, МГц		1	10
в) число каналов в блоке		6	6
г) полоса пропускания, МГц		0...1	0...10
д) уровни сигналов	на базе	NIM, TTL	NIM, TTL
	на выводе	TTL	TTL
е) механический стандарт		КАМАК	КАМАК
ж) сложность аппаратуры		средняя	средняя
з) стоимость		низкая	средняя
и) Потребл. мощность		малая	малая

Конфигурация электрической схемы передатчика при использовании этих компонентов осталась без изменений /рис.2/. Из электрической схемы приемника /рис.3/ был исключен фильтр низких частот. Коэффициент усиления на частоте $f = 10$ МГц - 50, отношение сигнал/шум составило 40:1. Сравнительные характеристики систем приведены в таблице.

Электрическая часть ВОЛС /рис.5/ смонтирована в модулях механического стандарта КАМАК. Блоки имеют ширину 2М и используют шины +6В, -6В, +24В магистрали крейта. Напряжение +24 В понижается до уровня +12 В вспомогательным блоком 2ИС и заводится на соответствующую шину крейта.

На передних панелях передатчиков расположены переключатели уровней входных сигналов TTL-NIM и 12 разъемов: 6 - типа LEMO для входных сигналов, другие 6 - для подключения волоконно-оптических кабелей.

На передних панелях приемников расположены разъемы типа РП15-9ГВВ для контроля уровней постоянной составляющей на выходах усилителей; 6 разъемов - для подключения волоконно-оптических кабелей, другие 6 - типа LEMO- выходы сигналов TTL.

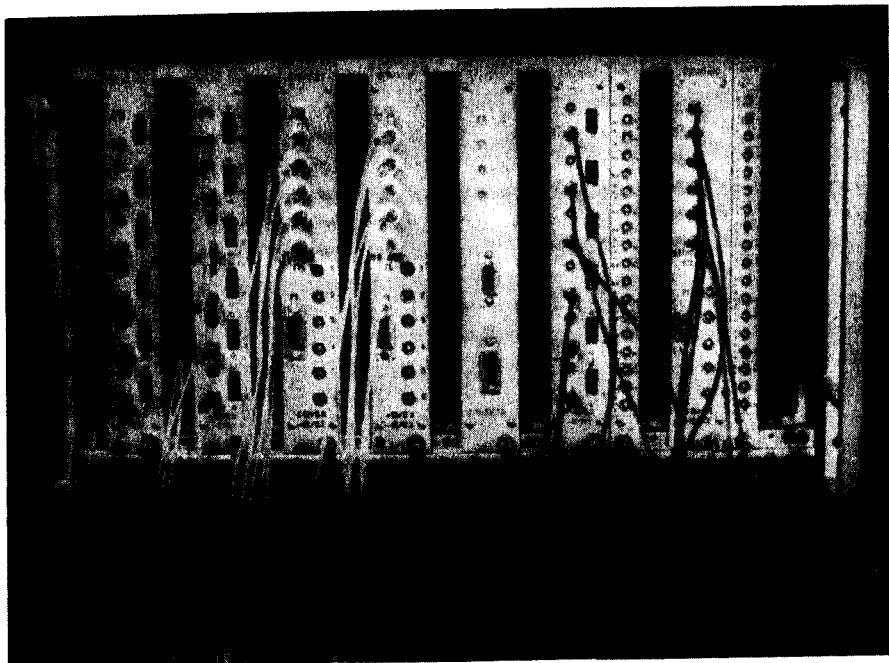


Рис. 5

Средний потребляемый ток: блок передатчика $-0,3A /+6V/$,
 $-0,3A /-6V/$,
блок приемника $-0,12A /+12V/$,
 $-0,12A /+6V/$,
 $-0,02A /-6V/$.

Описанные в работе электронные блоки ВОЛС изготовлены в лабораторных условиях. Значительный выигрыш во времени при конструировании разъемов ВОЛС был обеспечен вследствие внедрения электрооптических соединителей. Они создавались с таким расчетом, чтобы максимально использовать элементы малогабаритных электрических разъемов LEMO. Это, в свою очередь, позволило существенно упростить конструкцию разъема и получить высоконадежную линию передачи информации. Всего было изготовлено 3 комплекта электронных блоков, позволивших создать 18 каналов связи. Опытная эксплуатация системы подтвердила целесообразность использования ВОЛС на ускорителе.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность И.Н.Семенюшкину, Ю.К.Пелипенко, Л.П.Зиновьеву

и М.А.Воеводину за стимулирование данной работы, В.А.Белякову и А.Д.Коваленко за полезные обсуждения, П.Н.Буйлову за изготовление опытной серии блоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов Ю.И. и др. ОИЯИ, 9-3484, Дубна, 1967.
2. Мальцев И.Г. Препринт ИФВЭ, 71-82. Серпухов, 1971.
3. ТИИЭР /пер.с англ./, 1970, т.58, №10.
4. Электроника /пер.с англ./, 1976, №16.
5. ТИИЭР /пер.с англ./, 1973, т.61, №12.
6. ТИИЭР /пер. с англ./, 1977, т.65, №12.
7. Пилипенко Ю.К. и др. ОИЯИ, Е13-80-500, Дубна, 1980.
8. Диоды и тиристоры /под ред. Н.А.Чернышева/. "Энергия", М., 1980.
9. Электроника /пер. с англ./, 1971, №11.
10. CERN Courier, 1980, vol.20, No.8, p.364.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 апреля 1982 года.