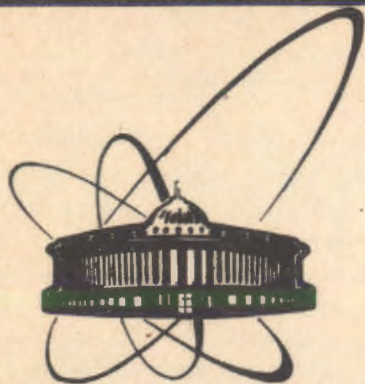


90-536



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна**

P13-90-536

Ю. И. Романов

**СВЕТОВОДНЫЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ
АСИНХРОННЫЙ КАНАЛ СВЯЗИ (СПАКС)**

1990

Таблица 1. Источники цифровой информации

| ИСТОЧНИКИ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ: | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------------|--------|--------------------------|-----------|-------------------------|-------|-------|---------------------|---------------|---------------------------------|
| основные параметры | ЭВМ, мини-ЭВМ, ПЭВМ | | | | | МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТ. | | | СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОНИКИ | | общие требования к каналу связи |
| | ЕС1040 ЕС1055 | СМ-3 СМ-4 | ЕС1010 | ЭЛЕКТРОНИКА-50, ДВК-1 | ПРАВЕЦ-16 | К580 | К1804 | К1810 | КАМАК | СУММА, ВЕКТОР | |
| Разрядность (наращиваемая выводного кода (слова), БИТ) | 8 | 16 | 16 | 16 | 8 | 8 | 4-п | 16 | 24 | 16 | 16 |
| частота ввода/вывода кода (слова), МГц | 1,5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 1,6 | 2,0 | 6,0 | 5,0 | 1,0 | 1,0 | 0,25...6,0 |
| структура магистрали | Внутр. | Внеш. | Внутр. | Внешн. | Внутр. | Инд. | Инд. | Инд. | Внутр. | Внутр. | ИНДИВИД. РАЗРАБОТКА |

управления и сбора данных. Анализ этих источников показывает, что электронные блоки передачи данных должны иметь разрядность передаваемого слова 16 бит. Скорость передачи для каждого конкретного случая может выбираться индивидуально в пределах 0,25÷6,0 Мбит/с.

Для создания внутриобъектовых и межобъектовых скоростных систем ВОЛС можно использовать волоконно-оптический мультиплексор (ВОМ) с циклическим опросом¹⁵. ВОМ выполняет функцию сопряжения параллельных цифровых каналов со световодной системой передачи данных с временным уплотнением каналов. Надо отметить, что выбранное схмотехническое решение ВОМ допускает изменение скорости передачи в пределах 1...10 Мбит/с. Для этого в передающем оптическом модуле (ПОМ) достаточно изменить частоту синхрогенератора, а в приемном оптическом модуле (ПРОМ) — длительность задержки в схеме формирования тактовых импульсов. Строительная длина световодной линии связи ВОМ составляет 630 м и ее вполне достаточно для решения широкого круга задач при автоматизации ЭФУ. Для большинства низко- и среднескоростных систем, создаваемых для управления и контроля ЭФУ, весьма перспективно использование асинхронной передачи данных, при которой информация в канал связи передается по одному символу, содержащему стартовый бит, данные, контрольный разряд (четность) и стоповые биты (рис.1). При использовании этого способа передачи данных максимальная длина передаваемого слова по каналу ВОЛС составляет 19-20 бит. К достоинствам асинхронной передачи следует отнести отсутствие линии общей синхронизации между крейтами с аппарату-

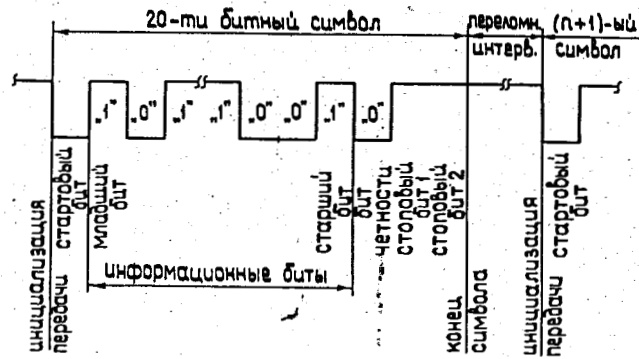


Рис.1. Структура 20-разрядного слова.

рой, что существенно уменьшает количество используемых линий связи. При асинхронной передаче вместо общей синхронизации используется синхронизация от двух независимых генераторов синхроимпульсов, стабилизированных кварцем. Выбирая частоту этих генераторов значительно выше, чем скорость передачи данных, можно легко синхронизоваться по началу каждого символа. Передача символа начинается сигналом "Старт" и заканчивается сигналом "Стоп".

Код передачи (или код системы связи) характеризует такие специфические отметки в передаваемой двоичной информации, которые в приемном оптическом модуле позволяют установить их однозначное соответствие цифровому сигналу, возбуждающему передающий оптический модуль. В последние годы в системах ВОЛС, работающих на ЭФУ, получил распространение код "Без возврата к нулю" (БВН или NRZ в англ. написании) и двухфазный код типа L (или "Манчестер-2")¹⁵. В большинстве случаев простейший код БВН удовлетворяет всем требованиям систем передачи данных (рис.2). Этот код не требует операций кодирования/де-

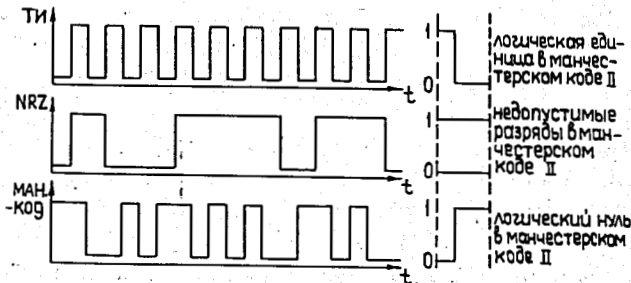


Рис.2. Структура кода БВН (NRZ) и "Манчестер"-кода.

кодирование и эффективно использует полосу частот канала связи. Характеристики кода БВН задают некоторый стандарт, относительно которого оцениваются показатели других кодов. Код БВН отображает поток данных уровнями напряжений, постоянных на интервале каждого передаваемого разряда. Код "Манчестер-2", напротив, отображает каждый двоичный разряд переходом уровней, причем направление перехода определяет значение двоичной переменной ("1" — переход "вниз", "0" — переход "вверх"). В коде БВН длинная последовательность единиц (или нулей) образует постоянный уровень. Поэтому спектр сигнала БВН занимает полосу от постоянной составляющей до половины тактовой частоты. Код "Манчестер-2" занимает полосу от половины до полного значения тактовой частоты (рис.2). В результате приемный оптический модуль может быть узкополосным и должен иметь вход по переменной составляющей для ограничения помех по постоянному току. Другие достоинства применения кода "Манчестер-2": свойство самосинхронизации (передача тактового сигнала одновременно с сообщением), простота обнаружения ошибок, сбалансированность по постоянной составляющей. Эти достоинства с наибольшим эффектом проявляются в мультиплексировании нескольких информационных каналов и передаче их по одной световодной линии¹⁵. При наличии только одного информационного канала оптимально использование кода БВН.

В плане решения задачи по разработке системы ВОЛС для организации связи "удаленный край — ЭВМ", а также "ЭВМ — ЭВМ" были изготовлены электронные блоки двухволоконной световодной линии связи, осуществляющей прием и передачу цифровых данных между двумя приемопередающими устройствами ВОЛС, смонтированными в кассетах КАМАК. Полукомплект такой аппаратуры, работающей в полудуплексном и дуплексном режимах, включает в себя: передающий оптический модуль (ПОМ), приемный оптический модуль (ПРОМ), "Манчестер"-ко-

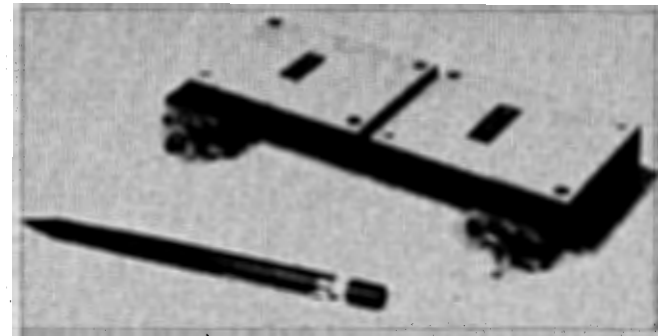


Рис.3. Конструкция приемопередающего модуля.

дек, коммуникационную среду, в качестве которой служат волоконно-оптические кабели (ВОК), оптические соединители (ОС) для подключения ВОК к ПОМ и ПРОМ, а также соответствующее электронное обрамление (последовательно-параллельный регистр, дешифратор функций КАМАК, схемы управления и индикации и др.).

Квантово-электронные микромодули ПОМ и ПРОМ представляют собой конструктивно законченные ТЭЗы с электрическим и оптическим соединителями и экранированным печатным монтажом (рис.3).

Передающий оптический модуль служит для преобразования электрических импульсов кода "Манчестер" в соответствующие ему по форме оптические импульсы и введения этих импульсов в волоконно-оптический кабель. В электрической схеме ПОМ (рис.4) использовано возбуждение светоизлучающего диода (СИД) с постоянным потреблением модулятором электрического тока^{15,16}. Приведенная конфигурация схемы формирователя импульсов тока СИД позволила исключить появление помех в цепях электрического питания.

Если выбрать кодом системы связи код БВН, то в качестве излучателя можно использовать СИД типа АЛ107. Последний при токе накачки 100 мА излучает оптическую мощность ~10 мВт. При использовании ВОК типа "кварц-кварц" диаметром 125/50 мкм и СИД типа АЛ107Б потери при их стыковке равны ~30 дБ¹⁸. С учетом этих потерь введенная в ВОК оптическая мощность составляет ~10 мкВт и ее вполне достаточно, чтобы при чувствительности ПРОМ 10^{-7} Вт и соотношении сигнал/шум 6/1 обеспечить передачу сигналов на расстояние до 500 м с затуханием ВОК до 20 дБ/км. Кроме того, СИД АЛ107 (А, Б) является недорогим комплектующим изделием и, благодаря своей конструкции, удобен для установки в оптический соединитель¹⁶. В зависимости от строительной длины ВОК и скорости передачи в многоканальный ВОЛС может быть использован

"Манчестер"-кодек (далее по тексту "Ман"-кодек). Кодер и декодер (кодек) служит для преобразования двоичного кода в Манчестерский код и наоборот. Желательность использования кода "Манчестер" определяется необходимостью обеспечения оптимального, с точки зрения энергетики, быстродействия и помехозащищенности режима работы излучателя. Однако, если выбрать кодом системы связи код "Ман-

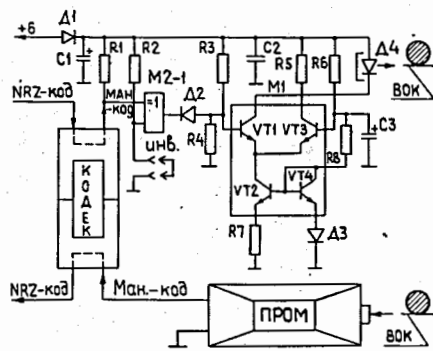


Рис.4. Электрическая схема ПОМ.

честер", то для нормального функционирования кодера необходима удвоенная тактовая частота. Поэтому в качестве излучателя для ПОМ предпочтительно использование СИД повышенного быстродействия (АЛ118, АЛ129 и др.) или суперлюминесцентного диода типа ИЛПН-301^{15,16}.

Приемный оптический модуль служит для преобразования последовательного цифрового формата данных, поступающих из ВОК в виде оптических сигналов, в соответствующие им по форме электрические импульсы. Электрическая схема ПРОМ (рис.5) включает в себя: квантово-электронный преобразователь (КЭП) — Д1, трансимпедансный усилитель (ТИУ) — Т1÷Т4, усилитель-корректор (УК) — М1, пороговое устройство (ПУ) — М2.

Промодулированный световой поток из ВОК через ОС попадает на светочувствительную площадку КЭП и преобразуется в электрический ток. В качестве КЭП используется р-n фотодиод типа ФД272, имеющий полосу пропускания ≥ 30 МГц и темновой ток ~10 нА. ТИУ необходим для преобразования сигнала тока КЭП в интегрированное напряжение. ТИУ, как предварительный усилитель широкополосной оптической системы, вносит наибольший вклад в полную мощность шума. Поэтому при проектировании этого усилителя особое внимание уделялось подбору транзисторов и рабочих режимов, обеспечивающих минимально возможное добавление шума и максимальное усиление. Для получения высокого отношения сигнал/шум ТИУ построен на полевом и биполярных транзисторах. В описываемом ПРОМ в первом каскаде ТИУ использован высокочастотный кремниевый полевой транзистор типа КП312А. Выбор этого полевого транзистора обусловлен сравнительно высокой его добротностью $Q = S_3/C_{3-н}$, где S_3 — крутизна стоко-затворной характеристики транзистора; $C_{3-н}$ — емкость затвор-исток. Для КП312А $Q \cong 2 \cdot 10^9$, что больше чем в два раза превосходит добротность полевого транзистора КП303Е. Благодаря малогабаритному корпусу с полосковы-

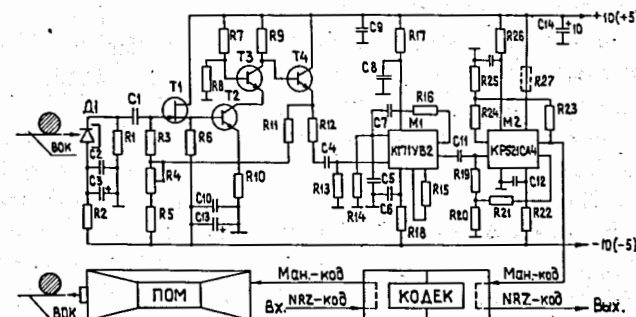


Рис.5. Электрическая схема ПРОМ.

ми выводами уменьшается паразитная индуктивность вывода истока транзистора. Основное усиление ТИУ реализуется ступенью, построенной по каскодной схеме ОЭ-ОБ на малошумящих транзисторах типа КТ368 с непосредственными связями между каскадами и параллельной отрицательной обратной связью по напряжению (рис.5). Такая схема построения предусилителя обеспечивает малую входную динамическую емкость, хорошую частотную характеристику. Режим работы ТИУ с помощью резистора R_8 подбирается таким образом, чтобы напряжение на коллекторе ТЗ составило ~ 2 В при токе 4-5 мА. Это позволяет уменьшить шум предусилителя и обеспечить необходимую частотную характеристику тракта. ТИУ имеет следующие параметры: полоса пропускания по уровню 0,707 составляет 30 мГц, коэффициент усиления ~ 10 , динамический диапазон ~ 30 дБ. Усилитель-корректор собран на микросхеме К171УВ2¹⁹. Один из его каналов обеспечивает подъем АЧХ усилителя в области высоких частот ($\sim 6-8$) дБ, другой использован как масштабный усилитель напряжения. Используя вместо перемычек постоянные резисторы, можно плавно (в пределах 4-200 раз) изменять усиление каскада (рис.5). Каждое значение резистора R_{15} соответствует определенному диапазону длины ВОК и потерь в световоде. Для ограничения помех по постоянному току ТИУ и УК имеют входы по переменной составляющей. В качестве порогового устройства используется компаратор, выполненный на интегральной микросхеме КР521СА4^{19,10}. ПУ служит для формирования уровней цифрового сигнала, а также для уменьшения изменения скважности выходного сигнала в динамическом диапазоне ПРОМ. Известные схемы подобных устройств, выполненные с использованием интегральных компараторов КР597СА2^{19,10}, обладают низким коэффициентом усиления и склонны к самовозбуждению. Хорошие точностные характеристики при простом схемном решении были получены при использовании компараторов К521СА4. Эта микросхема имеет следующие преимущества по сравнению с КР597СА2:

а) меньшую потребляемую мощность и стоимость;

б) большую устойчивость (порог устойчивости К521СА4 с данным широкополосным усилителем 10 мВ, КР597СА2 — 30 мВ);

в) меньшие габариты (К521СА4 в корпусе 301.12)¹⁰.

Быстродействие К521СА4 вполне достаточно для работы с данным ПРОМ (разброс задержки на срабатывание К521СА4 ~ 26 нс). Устройство формирует на выходе прямой и инверсный сигналы с уровнями ТТЛ.

"Ман"-кодек реализован на 4 микросхемах и выполнен в виде самостоятельного функционального узла (рис.6). Он обеспечивает прямое и обратное преобразование кодов БВН и "Манчестер"¹⁵. Для функционирования "Ман"-кодека тактовая частота выбрана равной 2,5 мГц. Применение микросхем серии 155 позволяет устройству работать на ча-

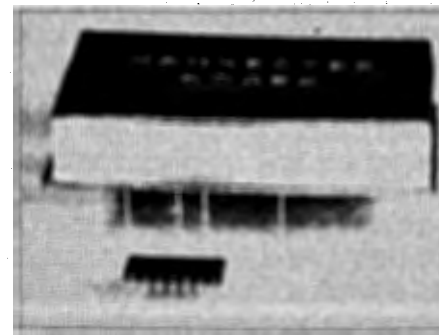


Рис.6. Внешний вид микро модуля "Манчестер"-кодека.

стотах до 15-16 мГц. Отсутствие в схеме фильтров и линии задержки делают "Ман"-кодек более технологичным и простым в наладке.

В табл.2 приведены основные технические характеристики ВОК, реализованные с помощью описанных приемного и передающего квантово-электронных микро модулей (рис.3) и доступной элементной базы.

Таблица 2. Технические характеристики приемопередающих модулей

| | АЛ107А | АЛ107Б | ИЛПН-301 |
|--------------------------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| Излучатель | | | |
| Длина волны излучения, мкм | 0,95 | 0,95 | 0,85 |
| Мощность изл. ввход. в ВОК, Вт | $6 \cdot 10^{-6}$ | 10^{-5} | 10^{-4} |
| Фотодиод | ФД256 | ФД272 | ФД272 |
| Чувствит. фотоприемника, Вт | 10^{-6} | 10^{-7} | $5 \cdot 10^{-7}$ |
| Скорость обмена, Мбит/с, не более | 2 | 2 | 10 (20) |
| Строительная длина ВОК, м, не более | 250 | 500 | 1000 |
| Коэффициент затух. ВОК, дБ, не более | 20 | 20 | 10 |
| Напряж. источников пит. модулей, В | ± 5 | $\pm 6; +5$ | $\pm 10; +5$ |
| Соединение модулей с ВОК | разъемное | | |
| Размещение в кассетах КАМАК | 2М | | |
| Конструкция | встраиваемая | | |
| Потребляемая мощность, Вт | 0,6 | | |
| Диапазон рабочих температур, °С | -10 ... +50 | | |
| Габаритные размеры, мм | 2 (80×55×22) | | |
| Масса, кг | 0,3 | | |

Техническая реализация СПАКС. Световодный последовательный асинхронный канал связи, как отмечалось выше, необходим для обмена 16-разрядными словами, преобразуемыми из параллельного кода в последовательный, и наоборот (в зависимости от направления обмена). КЭМ и электронное обрамление СПАКС размещено в кассетах 2М стандарта КАМАК.

Модуль СПАКС-01 выполняет параллельные загрузку и выдачу слова данных при внешнем управлении, через электрические соединители на передней панели.

Модуль СПАКС-02 производит те же операции при управлении от магистрали КАМАК. Последовательные передача и прием слова в обоих блоках осуществляются через оптические юстируемые соединители, расположенные на передней панели блоков. Формат слова приведен на рис.1. Оба блока могут подключаться к одним и тем же линиям связи. В качестве коммуникационной среды используются волоконно-оптические кабели (ВОК). При эксплуатации СПАКС в условиях импульсных радиационных полей используется радиационно-стойкий ВОК¹⁷⁷ с волокнами из кварцевого стекла с полимерной отражающей оболочкой типа "кварц-полимер". Для внутриобъектовых систем связи на ЭФУ со строительными длинами до 1000 м применяются "сверхпрозрачные" волокна типа "кварц-кварц".

Обмен словами в системах СПАКС осуществляется со скоростью 1,25 Мбит/с, работа блоков синхронизируется кварцевыми резонаторами $f_{кв} = 10$ МГц. Основными узлами модулей СПАКС являются: 20-разрядный параллельно-последовательный сдвиговый регистр (ППР), схемы управления и индикации, "Ман"-кодек, квантово-электронные микромодули ПОМ и ПРОМ.

Модуль СПАКС-01 (рис.7). ППР осуществляет прием и передачу как параллельного, так и последовательного кодов. Он управляется сигналами, формируемыми схемой управления: "Сдвиг", "Такт" и "Установка режима". Эти сигналы служат для загрузки в регистр данных при поступлении параллельного кода. Параллельный код слова заносится в ППР по входному строб-импульсу. По этому сигналу триггер схемы управления устанавливается в "1", после чего начинает работать генератор сдвиговых импульсов. Схема управления формирует служебные сигналы, разрешающие выход информационных сигналов от ППР. Запрет последовательной выдачи снимается и на выход ППР поступает последовательный код слова, преобразованный из параллельного. При передаче последовательного кода слова на "Ман"-кодек и далее на ПОМ сначала посылается бит "Старт", затем 16 битов данных, начиная с младшего, далее бит "Четность" (или нулевой бит) и два бита

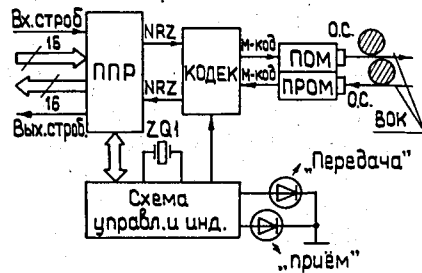


Рис.7. Структурная схема модуля СПАКС-01.

"Стоп". Стартовым битом триггер схемы управления устанавливается в "1", и начинает работать генератор сдвиговых импульсов. Одновременно формируется сигнал, блокирующий выход ППР во время приема последовательной информации.

Принятая ПРОМ информация поступает на вход "Ман"-кодека и, далее, последовательный код слова (16 бит данных) заносится в сдвиговый регистр и преобразуется в параллельный. На выходные электрические соединители блока подаются параллельный код слова и выходной строб-импульс (конец передачи).

Модуль СПАКС-02 (рис.8). Блок выполняет следующие команды с магистрали КАМАК:

- NA(0)F(0) — чтение данных, принятых по линии ВОЛС; Q = 1.
- NA(0)F(2) — чтение данных, принятых по ВОЛС, передача "нулевого" ответного слова, сброс триггера L; Q = 1.
- NA(0)F(8) — проверка сигнала L; Q = 0.
- NA(0)F(10) — сброс сигнала L, Q = 0.
- NA(0)F(16) — запись данных в регистр и передача их по линии ВОЛС, сброс L; Q = 1.
- NA(0)F(18) — запись данных, занесение признака конца массива, сброс сигнала L, передача слова в линию ВОЛС; Q = 1.
- NA(0)F(24) — блокировка сигнала L; Q = 0.
- NA(0)F(26) — разблокировка сигнала L; Q = 0.

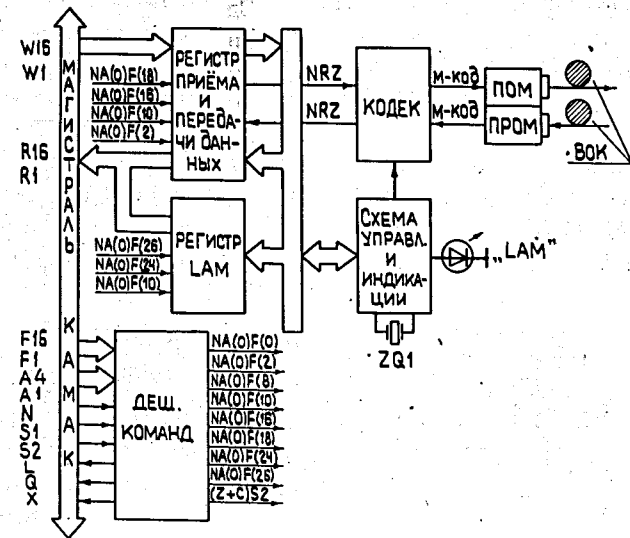


Рис.8. Структурная схема модуля СПАКС-02.

При выполнении перечисленных команд выдается сигнал X. 20-битовый ППР выполняет параллельные загрузку и считывание, последовательный ввод и вывод данных. Он управляется тремя сигналами: "Сдвиг", "Установка режима", "Считывание". При приеме данных по линии ВОЛС информация от "Ман"-кодека заносится в регистр и генерируется сигнал L. Чтение данных из регистра происходит по команде с магистрали. В исходном состоянии триггеры цикла, управления и ЛАМ сброшены. На входе схемы управления последовательной записи устанавливается высокий уровень. В ППР разрешается прием информации с последовательной линии передачи данных.

При появлении команд F(2), F(16) или F(18) на выходе схемы управления генерируются сигналы, разрешающие загрузку в ППР информации с магистрали КАМАК. При появлении команды F(2) загружаемая информация нулевая, так как контроллер выполняет операцию считывания и на шинах W данных нет. При появлении команды F(18) в регистр записывается лог. "0" в разряд признака конца передачи блока данных.

Организация связи между удаленными крейтами КАМАК. На рис.9 показана структурная схема 50-метровой ВОЛС для передачи аналоговой информации на пульт управления ЛУ-20 с высоковольтного терминала инжектора ускорителя. Инициализация работы "пассивного" модуля СПАКС осуществляется от устройства задержки, запуск которого синхронизован с запуском ионного источника. При этом информация считывается как однократно, так и многократно в паузах между импульса-

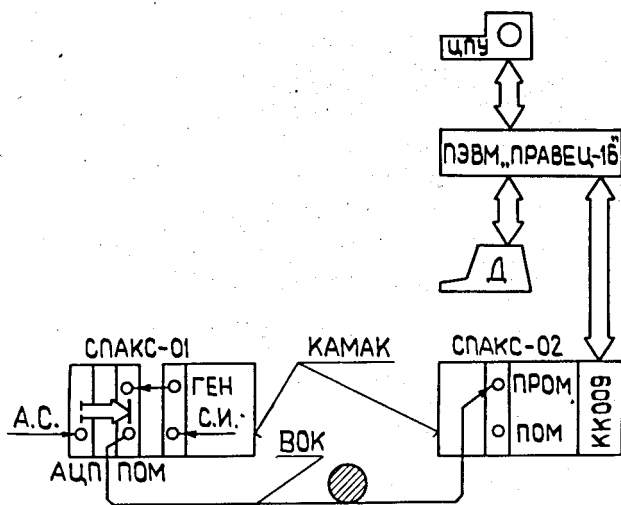


Рис.9. Структурная схема передачи аналоговой информации с высоковольтного терминала.

7. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-723, Дубна, 1988.
8. Storozum S.L. : Electronics, 1980, No.4, p.32.
9. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. Справочное пособие (под ред.С.В.Якубовского), М.: Радио и связь, 1985.
10. Интегральные микросхемы. Справочник (под ред. Б.В.Тарабрина), М.: Радио и связь, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 ноября 1990 года.