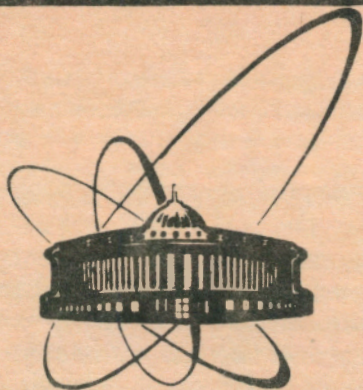


92-366



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

13-92-366

Ю.И.Романов

СВЕТОВОДНЫЙ КАНАЛ
ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОСИГНАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

1992

Световодные системы связи для передачи телевизионной информации на высоковольтных электрофизических установках (ЭФУ) используются для дистанционного наблюдения на экране телевизионного приемника черно-белого изображения при проведении научно-технических экспериментов и неконтактных измерений телевизионными методами [1,2].

Перспективность применения волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) на ЭФУ, в основном, определяется успешным сочетанием достоинств волоконных световодов и цифровых методов передачи информации, что обусловлено серьезными преимуществами цифровых систем связи перед аналоговыми: высокой помехоустойчивостью к воздействию внешних помех и аппаратурных искажений. Однако при наличии источника аналоговой информации использование цифровых методов приводит к существенному расширению частотного спектра передаваемого сигнала. Особенно это проявляется при кодировании широкополосных сигналов с большим динамическим диапазоном. Так, для передачи телевизионного видеосигнала с использованием цифровой ИКМ-системы ВОЛС необходимая полоса пропускания должна быть в 8...20 раз шире [3].

Существенно ускорить разработку световодного канала связи для передачи видеосигналов возможно, если пойти по пути создания аналоговой ВОЛС с использованием модуляции по интенсивности (МИ). Такие системы дешевле, чем цифровые, проще сопрягаются с обычными трактами передачи аналоговых электрических сигналов, так как не требуют включения в канал связи АЦП- и ЦАП-преобразователей. Особенности аналоговой передачи по сравнению с цифровой является необходимость получения большого отношения сигнал/шум на выходе приемника и высокой линейности характеристик излучателя по всему тракту. При этом снижение искажений может быть получено как путем установки излучателей с лучшими ватт-амперными характеристиками, так и соответствующими схемотехническими методами. Предпосылками для создания аналоговых ВОЛС являются сокращение полосы пропускания и необходимость использования в канале связи:

— многомодовых многожильных (из поликомпонентного стекла) волоконных световодов с большим диаметром световедущей жилы без применения согласующих элементов;

— многомодовых одножильных световодов с малым диаметром световедущей жилы и согласующими элементами на торцах.

В работе описана 50-метровая аналоговая ВОЛС для передачи видеосигналов с высоковольтного терминала ионного источника линейного ускорителя с использованием оптического волокна с диаметром сердцевины 50 мкм. Для эффективного ввода излучения в световод КК125/50 от полупроводникового лазера использованы согласующие микролинзы. Недостатки, свойственные аналоговым ВОЛС, обусловлены нестабильностями потерь в световодах и оптических соединителях, а также возможным изменением уровня излучаемой мощности передатчика. Эти и другие трудности, связанные с разработкой и конструированием данной световодной системы, преодолевались, в основном, рациональным выбором компонентов.

Система для неконтактных измерений телевизионными методами включает в себя: передающий оптический модуль, приемный оптический модуль, волоконно-оптическую линию связи с согласующими микролинзами, телекамеру КТП-79 на п.з.с.-матрице, телемонитор.

Передающий оптический модуль (ПОМ) состоит из следующих элементов (рис.1):

— лазерного диода, смонтированного в юстируемый оптический соединитель (розеточный узел), служащий одновременно для его охлаждения;

— электронной схемы управления током накачки, плавно нарастающим при включении и плавно уменьшающимся при выключении (на рис.1 этот узел не показан);

— электронной схемы модулятора видеосигнала.

К гетеролазерам, предназначенным для применения в системе кабельного телевидения, предъявляются высокие требования по надежности. Он должен допускать модуляцию интенсивности в такт с модуляцией видеосигнала. Надежность и линейность передаточной характеристики оптического тракта зависят от характеристик применяемого излучателя (линейность, ресурс, квантовая эффективность). Для увеличения ресурса лазерного диода необходимо работать с минимальным начальным током смещения, который задается резистором R_6 . Глубина модуляции и частотный диапазон определяются характеристиками транзисторов Т1 и Т2. Для коррекции частотной характеристики модулятора с излучателем в области верхних частот коллекторная цепь выходного транзистора содержит частотно-зависимую обратную связь.

Высокая квантовая эффективность лазерного диода позволяет работать с небольшими коэффициентами модуляции ($m \leq 0,5$).

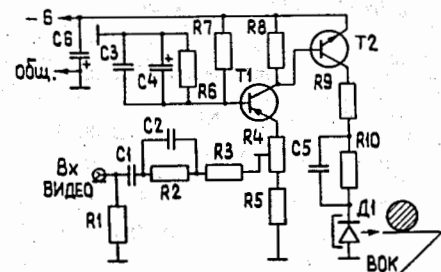


Рис.1. Электрическая схема передающего оптического модуля с лазерным диодом (Д1-ИЛПН-102, Т1-КТ363Б, Т2-КТ919В)

Основой ПОМ служит полупроводниковый диод типа ИЛПН-102 полосковой конструкции из арсенид-галлиевых-арсенид-алюминиевых гетероструктур. Данный лазерный излучатель предназначен для генерирования в непрерывном режиме когерентного оптического излучения в ближнем инфракрасном световом диапазоне 820+920 нм. Для получения мощности 5 мВт ток накачки не превышает 500 мА. Как показали эксперименты, для прибора ИЛПН-102 модуляционная характеристика близка к линейной при модуляции с частотой до 200 МГц. Для ввода лазера в линейный режим использовалось постоянное токовое смещение $I_{СДВ} = 130$ мА. Уровень средней мощности излучения при этом не превышал 1 мВт. Источник питания лазерного диода обеспечивал регулировку тока накачки от нуля до максимального значения, что позволило контролировать возрастание излучаемой мощности и исключить катастрофическую деградацию зеркал лазерного диода. Первоначально ток накачки устанавливается равным нулю и после включения источника питания схема управления током накачки плавно увеличивает ток до рабочего значения (130 мА). Порядок выключения должен быть строго обратным. Он обеспечивается автоматически работой электронной схемы управления током накачки.

Приемный оптический модуль (ПРОМ) состоит из следующих элементов (рис.2):

- оптической части, фототранзисторного детектора излучения, вмонтированного в юстируемый оптический соединитель (розеточной узел);
- предусилителя с низкими собственными шумами для усиления сигнала, поступающего с фотодетектора;
- частотно-корректирующего RC-фильтра;
- усилительной ступени, обеспечивающей усиление сигналов до необходимой амплитуды и позволяющей согласовать коаксиальный кабель ($R_z = 75$ Ом) с видеовыходом.

ПРОМ построен по схеме прямого детектирования. С целью получения наибольшего выигрыша по чувствительности в качестве детектора излуче-

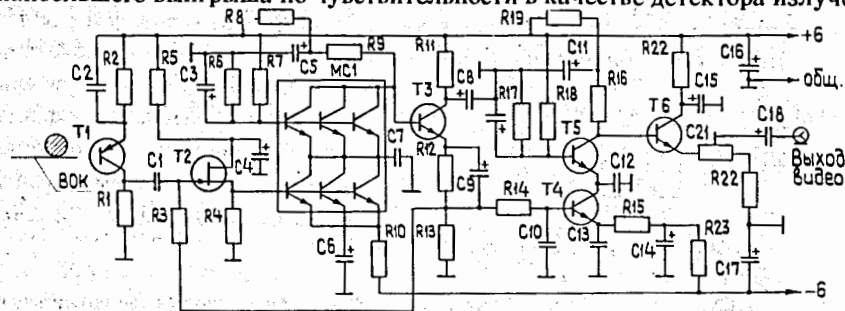


Рис.2. Электрическая схема приемного оптического модуля (Т2-КП31 2А, МС1-К137ЛД1, Т3+Т6 КТ368)

ния использован гетерофототранзистор, что характеризует качественно иной подход к разработке фотоприемника. Система характеризуется широкой полосой частот 10 МГц и оптимизированным отношением сигнал/шум. Предварительный усилитель (к.у. = 10 дБ) включает в себя: малощумящий полевой транзистор (Т2), включенный по схеме истокового повторителя, каскадный усилитель (МС-1) и эмиттерный повторитель (Т3), охваченные параллельной отрицательной обратной связью для получения оптимального входного сопротивления. Предусилитель питает $R_{14}C_{10}$ -фильтр с граничной частотой 6 МГц. Далее следуют каскадная ступень усиления и выходной эмиттерный повторитель, построенный с применением малощумящих СВЧ-транзисторов (Т3+Т6). Отношение сигнал/шум в системе (средне-квадратичное значение) равно 48 дБ, что обеспечивает для указанной полосы частот достаточно широкий динамический диапазон.

При создании предусилителя с высоким отношением сигнал/шум в каскадной усилительной ступени опробовано параллельное включение транзисторов с использованием транзисторных сборок. Основные рассуждения при этом сводились к следующему. Из теории сложения статистически несвязанных шумовых сигналов известно, что квадрат амплитуды среднего суммарного шумового сигнала равен сумме средних квадратов амплитуд токов или напряжений отдельных слагаемых:

$$\overline{N}_{\Sigma}^2 = \overline{N}_1^2 + \overline{N}_2^2 + \dots + \overline{N}_n^2,$$

где \overline{N}_n^2 — безразмерные величины.

Такой эффект будет иметь место при работе в режиме усиления нескольких параллельно включенных транзисторов на общую нагрузку. Суммарный усиленный сигнал равен

$$U_c = U_1 + U_2 + \dots + U_n,$$

где U_n — амплитуда сигнала на выходе n -го транзистора. Шум на выходе каскада, состоящего из n транзисторов, равен

$$\overline{N}_{\Sigma} = \sqrt{\overline{N}_1^2 + \overline{N}_2^2 + \dots + \overline{N}_n^2},$$

Поскольку используемые транзисторы выращены на одной подложке, в едином технологическом цикле и одинаковы по параметрам, можно положить, что

$$\overline{N}_i = \overline{N}_1^2 = \overline{N}_2^2 = \dots = \overline{N}_n^2, \text{ а } \overline{U}_i = U_1 = U_2 = \dots = U_n,$$

вследствие чего

$$\overline{N}_{\Sigma} = \sqrt{n \overline{N}_i^2}; U_c = n U_i,$$

Отношение сигнал/шум на выходе такого усилителя равно:

$$\text{сигнал/шум} = \frac{U_i n}{\sqrt{n N_i^2}} = \sqrt{n} \frac{U_i}{N_i}.$$

Таким образом, среднеквадратичное значение тока сигнала, передаваемого в нагрузку каскада, увеличивается в n раз (где n — число параллельно включенных транзисторов), а среднеквадратичное значение шумового тока увеличивается только в \sqrt{n} раз. Как показали эксперименты, при увеличении параллельно работающих транзисторов > 6 , отношение сигнал/шум не возрастает, и поэтому наибольший выигрыш по чувствительности в таком усилительном каскаде равен $8+10$ дБ.

Квантовоэлектронные модули ПОМ и ПРОМ представляют собой конструктивно законченные ТЭЗы с электрическими и оптическими соединителями и экранированным печатным монтажом, выполненным на двухстороннем фольгированном фторопласте ФФ4, толщиной 2 мм.

Для повышения эффективности ввода оптического излучения от полупроводникового лазера в многомодовый волоконно-оптический световод использованы микролинзы.

Несмотря на простоту конструкции последних, технология изготовления этих элементов достаточно сложна и требует специального оборудования для разогрева световода в плазме электрического разряда /4,5/. Однако локальный разогрев световода до температуры плавления материала приводит к возникновению на участке разогрева стекла сильных напряжений, снижающих эксплуатационные характеристики согласующих элементов, изготовленных таким способом.

В данной работе использована более простая технология изготовления согласующих элементов на торцах волоконного световода КК125/50 с улучшенными эксплуатационными характеристиками. На рис.3 приведена

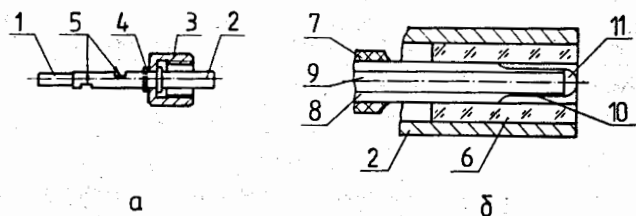


Рис.3. Конструкция вилочной части юстируемого оптического соединителя для моноволоконного кабеля с клеевой микролинзой: 1 — хвостовик, 2 — наконечник (штеккер), 3 — накидная гайка, 4 — фиксатор, 5 — паз для клея, 6 — капилляр стеклянный, 7 — полимерное покрытие, 8 — кварцевая оболочка, 9 — сердцевина, 10 — травленный участок световода, 11 — клеевая микролинза

конструкция согласующего элемента, смонтированного в корпусе штеккера (вилочная часть) юстируемого оптического соединителя (о.с.). Основу согласующего элемента составляет клеевая микролинза, сформированная на торце участка световода с уменьшенным диаметром оболочки. Диаметр микролинзы совпадает с диаметром указанного участка световода. Для придания элементу механической прочности, необходимой для его дальнейшей эксплуатации, согласующий элемент вклеивается в стеклянный капилляр, смонтированный в вилочной части О.С.

Процесс изготовления согласующего элемента включает в себя следующие технологические операции:

1. После снятия полимерного покрытия и очистки оболочки световода в серной кислоте часть оболочки вблизи его торца удаляется методом химического травления в плавиковой кислоте. Время травления световода до выбранного значения диаметра оболочки $80+55$ мкм составляет $25+30$ мин.

2. После соответствующей обработки (промывки, сушки) световода на травленном участке скрайбером делается ровный скол, перпендикулярный оптической оси световода.

3. Вертикальным погружением торца световода в прозрачный оптический клей на эпоксидной основе производится формирование микролинзы. Глубина погружения торца световода в эпоксидный клей (~ 50 мкм) контролировалась визуально по изменению рассеяния излучения гелий-неонового лазера ЛГН-105 в момент касания световодом поверхности клея.

4. Полная полимеризация клея, формирующего микролинзу, составляет \sim сутки, при строго вертикальном положении световода.

5. Заключительной технологической операцией является вклеивание (с помощью клея «Циакрин») участка световода с микролинзой в стеклянный капилляр с полированным торцом, защищающий микролинзу от механических повреждений. Затем эта конструкция с согласующим элементом монтируется в вилочную часть юстируемого оптического соединителя с использованием клея на эпоксидной основе.

При исследовании эффективности ввода излучения в световод КК125/50 от полупроводникового лазера было отмечено, что максимум эффективности ввода достигается при смещении излучателя из фокальной плоскости в сторону микролинзы (рис.4). Максимум эффективности при попадании основной доли светового потока в сердцевину световода достигается юстированием вилочной части оптического соединителя /6,7/.

Описанный согласующий элемент с улучшенными характеристиками позволил существенно увеличить эффективность ввода излучения в волоконно-оптический световод: до 70% мощности излучения от полупроводникового лазера и до $18+20\%$ — при использовании некогерентных излучателей, например, светодиодов ИК-диапазона (типа АЛ107, АЛ115) по сравнению с вводом излучения в плоский торец световода.

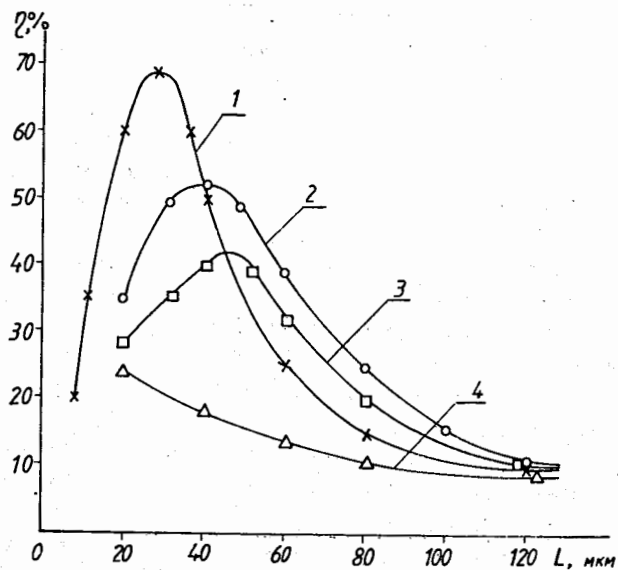


Рис. 4. График зависимости эффективности ввода излучения лазерного диода от осевого смещения световода с клеевой микролинзой, диаметром: 1 — 55 мкм, 2 — 75 мкм, 3 — 100 мкм, 4 — 60 мкм (торец световода без микролинзы)

Эксперименты по неконтактным измерениям телевизионными методами впервые проводились в ЛВЭ в 1985 году. Они были связаны с дистанционным контролем рабочих параметров высоковольтного ускорителя /2/. С получением нового оборудования и развитием элементной базы ВОЛС эти работы были продолжены. На этот раз для проверки на радиационную стойкость на высоковольтном терминале линейного ускорителя ЛУ-20 была установлена прикладная телевизионная установка «Матрица» /8/. Отличительная особенность этой телекамеры — использование в качестве преобразователя «свет-сигнал» матрицы приборов с зарядовой связью (п.з.с.) с числом элементов 288x256. В камере реализуется принцип самосканируемой развертки и осуществляется пространственная дискретизация потенциального рельефа (зарядового изображения) как по вертикали, так и по горизонтали. Поэтому камера обеспечивает «жесткий» растр с фиксированной геометрией. Нелинейные искажения в камере отсутствуют, а геометрические определяются только объективом. Видеосигналы от телекамеры передавались на монитор ВК50В60, установленный на пульте управления ЛУ-20, по 50-метровой ВОЛС, описанной выше. Система оказалась весь-

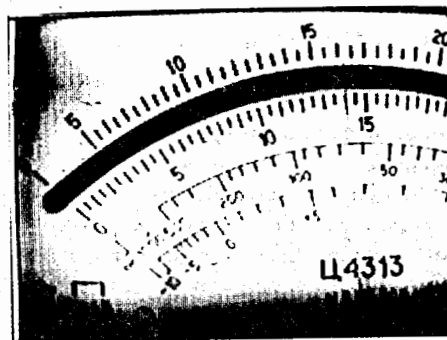


Рис. 5. Телевизионное изображение шкалы стрелочного прибора на телемониторе ВК50В60, переданное по световоду 50-метровой ВОЛС

ма надежной и удобной в эксплуатации. Результаты испытаний телекамеры в радиационных условиях показали, что заметной деградации, связанной с накоплением заряда в слое диэлектрика п.з.с.-структуры, в течение 100 часов наработки обнаружено не было. Таким образом, описанную систему можно успешно применять для решения различных научных задач и, в первую очередь, для создания систем телевизионной телеметрии /2/ на высоковольтных ЭФУ, работающих в радиационных условиях. Разрешающая способность системы показана на рис. 5. По тестовой таблице она соответствует ~ (120+130) телевизионным линиям по горизонтали и вертикали при освещенности ~ 4 лк.

Об эффективности использования аналоговых ВОЛС на ЭФУ можно судить, сравнивая отношение сигнал/шум, которое можно получить в типичном случае в коаксиальной и световодной /9/ системах. Предположим, что передатчик системы с коаксиальным кабелем может развивать на входе такой линии передачи ($R_z = 75 \text{ Ом}$) максимальное напряжение $U_{вх} = 5 \text{ В}$, а типовой лазерный передатчик световодной системы развивает на входе ВОЛС $P_0 = 1 \text{ мВт}$, при $m = 0,5$. На выходах соответствующих приемников информации можно получить отношение сигнал/шум (для простоты расчета систем считаем потери в кабеле независимыми от частоты) при ограничении чувствительности приемников систем на коаксиальном кабеле — тепловыми шумами, а для аналоговой ВОЛС — дробовыми шумами:

$$\text{сигнал/шум (коакс, сист.)} = \frac{U^2 e^{-\alpha}}{R_z 4kTB} = \frac{25}{75 \cdot 4kTB} = 2,13 \cdot 10^{19},$$

$$\text{сигнал/шум (ВОЛС)} = \frac{Pm^2 e^{-\alpha}}{2h\nu B} = \frac{10^{-3} \cdot 0,25 \cdot e^{-\alpha}}{2h\nu B} = 6,25 \cdot 10^{14},$$

где kT — постоянная Больцмана, умноженная на абсолютную температуру ($4 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$); α — коэффициент затухания в линии между передатчиком и приемником, $H\nu$; B — ширина полосы модуляции, Гц; $h\nu$ — энергия фотона ($2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

При одинаковом затухании ($e^{-\alpha}$) в тракте между передатчиком и приемником и одинаковой ширине полосы сообщения B отношение сиг-

нал/шум в коаксиальной системе выше на 45 дБ. Если же вместо лазерного диода взять излучатель на СИД с выходной мощностью на 15+20 дБ меньше, то преимущество коаксиальной системы возрастает до 60+65 дБ.

Таким образом, пока трудно удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к аналоговым ВОЛС, и, особенно, к шумовым характеристикам световодных линий, которые хуже, чем у кабельных. Поэтому для получения такого же отношения сигнал/шум, как в линии передачи с коаксиальным кабелем, строительная длина аналоговой ВОЛС должна быть ограничена. Обычно она не превышает 1+2 км /10/, что вполне достаточно для эффективного использования аналоговых ВОЛС на ЭФУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТИИЭР, 1983, т.71, № 2.
2. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-85-580, Дубна, 1985.
3. Ярив А. — Введение в оптическую электронику. Пер. с английского. (Под ред. О.В.Богданкевич). М: Высшая школа, 1983.
4. Романов Ю.И. — ОИЯИ, Р13-90-473, Дубна, 1990.
5. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-88-827, Дубна, 1988.
6. Романов Ю.И., Турзо Н. — ОИЯИ, 13-86-513, Дубна, 1986.
7. Романов Ю.И., Гусаков Ю.В. — ОИЯИ, Р13-91-148, Дубна, 1991.
8. Костыкв Ю.В. — Прикладное телевидение. М.: Энергия, 1980.
9. ТИИЭР, 1981, т.69, № 2.
10. Романов Ю.И. — ОИЯИ, 13-85-599, Дубна, 1985.

Романов Ю.И.

13-92-366

Световодный канал передачи видеосигналов с использованием полупроводникового лазера

Описан световодный канал передачи видеосигналов на отдаленный телемонитор с использованием полупроводникового лазера и прикладной телевизионной установки с телекамерой на п.з.с.-матрице. Система рассчитана для неконтактных измерений телевизионными методами на высоковольтном терминале ионного источника линейного ускорителя. Даны краткие технические характеристики отдельных узлов, приведен сравнительный анализ эффективности использования аналоговых волоконно-оптических линий связи на электрофизических установках.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод автора

Romanov Yu.I.

13-92-366

A Fiber Optical Channel for Transmission of Video-Signals with the Use of Semiconductor Laser Diode

The fiber optical channel with the use of semiconductor laser diode and applied CCD-camera for video-signals transmission to a remote terminal is described. The system is proposed for remote measurements with television technique at the high voltage terminal of the linear accelerator ion source. Concise specifications of some blocks of the fiber optical system are discussed, comparative evaluation analysis of effective application of the analogous fiber optical communication lines at the electrophysical installations is presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992