

**ФГУП Приволжский Федеральный Университет
Институт Физики
Кафедра радиоэлектроники**

Волоконно-оптическая система передачи данных

Учебно-методическое пособие

А.В.Христофоров И.В.Лунёв

Казань – 2012

Печатается по решению редакционно-издательского совет Института физики ПФУ

УДК 521.38

Христофоров А.В., Лунёв И.В. Волоконно-оптическая система передачи данных. Учебно-методическое пособие, Казань, 2012, 29 с.

Рецензент: д.ф-м.н. О.Н.Шерстюков

Аннотация

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов и магистрантов 1-го года обучения радиофизических специальностей. Представлен материал по вопросам, связанным с распространением оптического излучения в волоконных световодах и методами кодирования информации для передачи данных по волоконно-оптическим линиям связи. Описывается устройство и работа волоконно-оптической системы передачи данных. В дополнение к теоретическому материалу студентам предлагается выполнить самостоятельную работу на экспериментальной установке по рекомендуемой методике.

Содержание

1	Распространение света в волоконном световоде.....	4
1.1	Затухание в волоконном световоде.....	6
1.2	Дисперсия в волоконном световоде.....	8
2	Модель волоконно-оптической системы передачи.....	13
2.1	Кодирование информации в волоконно-оптических системах связи.....	14
2.2	Устройство волнового уплотнения и оптические разветвители.....	20
3	Устройство распределения аналоговых данных «Электроника 8401».....	22
3.1	Передатчик-преобразователь.....	23
3.2	Приёмник и блок обработки данных.....	24
3.3	Устройство для цифро-аналогового преобразования и распределения аналоговых данных.....	25
4	Практическая часть.....	27
3.1	Задание по практической части.....	29

1 Распространение света в волоконном световоде

Распространение света по световоду основано на законах геометрической оптики. Вследствие дисперсии показателя преломления эти законы справедливы только для волн, частоты которых малы по сравнению с частотой процессов в атомах и молекулах.

Распространение света в световоде происходит в результате полного внутреннего отражения на границе сердцевины и оболочки. Для этого коэффициент преломления сердцевины должен быть больше, чем у оболочки. Коэффициент преломления кварцевого стекла SiO_2 сердцевины повышают путём легирования добавками GeO_2 , TiO_2 . Для уменьшения коэффициента преломления материал оболочки легируют добавками Ba_2O_3 . Разность показателей преломления сердцевины и оболочки обычно не превышает 0.005.

При падении световой волны на границу раздела двух диэлектриков угол между направлением распространения преломлённой волны ζ_2 и нормалью к границе раздела связан с углом падения ζ_1 законом преломления Снеллиуса:

$$\sin\zeta_1 / \sin\zeta_2 = n_2 / n_1 \quad (1),$$

где n_2 и n_1 – показатели преломления двух сред. Если световая волна из оптически более плотной среды 1 падает на границу раздела с оптически менее плотной средой 2, то полное отражение света в первую среду происходит при $\zeta_1 > \zeta_{\text{кр}}$, где $\zeta_{\text{кр}} = \arcsin(n_2/n_1)$ – критический угол падения, при котором преломленный луч начинает скользить по границе раздела. Поэтому световой луч распространяется в световоде по зигзагообразной траектории.

Электромагнитное поле световой волны частично заходит в оболочку, но его напряженность в ней экспоненциально убывает по мере удаления от границы раздела. Этот эффект называется оптическим туннелированием. Энергия падающей волны полностью возвращается в первую среду, но места

захода падающей и выхода отражённой волны на границе раздела смещены относительно друг друга на расстояние порядка половины длины волны. Чтобы исключить необратимые потери энергии части волноводных мод, которые распространяются за пределами волноводного слоя, используется оптически прозрачная оболочка. Эффект оптического туннелирования широко используется для ввода и вывода излучения, осуществления оптической связи между оптическими волноводами и т.д.

Другое свойство волоконного световода (ВС), характерное для определенной длины волны, это нормализованная частота:

$$V = (2\pi a / \lambda) \cdot \sin\theta_{\max} \quad (2),$$

где a — радиус сердцевины световода. Множитель $\sin\theta_{\max} = (n_2^2 - n_1^2)^{1/2}$ в правой части уравнения (2) называется числовой апертурой (NA), и определяет максимальный угол θ_{\max} отклонения луча от оси световода, до которого выполняется закон полного внутреннего отражения. Числовая апертура характеризует свето-собирающую способность волокна. Количество оптической мощности, воспринимаемой оптическим волокном, изменяется пропорционально квадрату NA.

Длина волны излучения источника излучения выбирается исходя из условия минимума потерь в сердцевине световода. Например, в кварцевом стекле минимум потерь 0.2 Дб/км наблюдается на длине волны 1,3 мкм. На этой длине волны минимальна сумма рэлеевских потерь, связанных с рассеянием на локальных неоднородностях кристаллической структуры, и инфракрасных потерь, обусловленных возбуждением различных осцилляторов в кристаллической решётке.

Рабочими диапазонами длин волн для ВОСП являются три основных окна прозрачности:

- 820-900 нм;
- 1280-1350 нм;
- 1528-1620 нм.

Частоты, соответствующие последнему окну:

$$F_1 = 3 \times 10^8 / 1528 \times 10^{-9} = 1,96 \times 10^{14} \text{ Гц} = 196 \text{ ТГц},$$

$$F_2 = 3 \times 10^8 / 1620 \times 10^{-9} = 1,85 \times 10^{14} \text{ Гц} = 185 \text{ ТГц}.$$

Вычитая F_2 из F_1 получим, что полезная рабочая полоса этого окна равна 11 ТГц, или 11000 ГГц. Эта ширина полосы в 110 раз больше той, что может быть использована в радиочастотной части спектра.

1.1 Затухание в волоконном световоде

Существуют два основных параметра, которые ограничивают длину волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) без использования повторителей, или длину секции между двумя повторителями. Этими параметрами являются потери, выражаемые в дБ/км, и дисперсия, которая выражается в виде произведения ширины полосы на длину линии - МГц·км. Это произведение называется коэффициентом широкополосности. Чем меньше эти величины, тем больше может быть расстояние между регенерационными участками и повторителями.

На затухание света в волокне влияют такие факторы, как: потери на поглощение, потери на рассеяние, кабельные потери. Потери на поглощение и на рассеяние вместе называют собственными потерями, а потери на стыках – дополнительными или кабельными потерями (рис.1).



Рис.1 Основные типы потерь в волокне

Полное затухание в волокне измеряется в дБ/км и определяется в виде суммы:

$$a = a_{int} + a_{rad} = a_{abs} + a_{sct} + a_{rad} \quad (3).$$

Потери на поглощение a_{abs} состоят как из собственных потерь в кварцевом стекле (ультрафиолетовое и инфракрасное поглощение), так и из потерь, связанных с поглощением света на примесях. Примесные центры поглощают свет на определенных длинах волн и рассеивают поглощенную световую энергию в виде джоулевского тепла. Собственные потери на поглощение растут, и становятся значимыми в ультрафиолетовой и инфракрасной областях. При длине волны излучения выше 1,6 мкм обычное кварцевое стекло становится непрозрачным из-за роста потерь, связанных с инфракрасным поглощением.

Уменьшению затухания в коротковолновом диапазоне препятствует Рэлеевское рассеяние, которое вызвано наличием в волокне неоднородностей микроскопического масштаба. Свет, попадая на такие неоднородности, рассеивается в разных направлениях, в результате чего часть его теряется в оболочке. Потери на Рэлеевском рассеянии a_{sct} зависят от длины волны по закону λ^{-4} и сильнее проявляются в области коротких длин волн.

Длина волны, на которой достигается нижний предел собственного затухания чистого кварцевого волокна, составляет 1550 нм. На более длинных волнах преобладает инфракрасное поглощение, на более коротких – рэлеевское рассеяние.

Рассеяние ведет не только к ослаблению проходящего сигнала, но и к увеличению обратного светового потока. Обратное отражение начинает сказываться в оптических линиях широкополосной цифровой передачи, широкополосной аналоговой передачи или в магистральных линиях с большим числом разъемных сопряжений. Оптический сигнал, распространяясь по волокну, отражается от различных неоднородностей, в оптических соединителях. В результате такого отражения часть энергии возвращается обратно. Если в качестве источников излучения используются лазерные диоды, то отраженный сигнал, попадая в резонатор лазера,

способен индуцированно усиливаться, приводя к появлению паразитного сигнала. Для подавления обратного потока применяются оптические изоляторы. В них используется эффект вращения плоскости поляризации света в веществе под действием магнитного поля (эффект Фарадея). Оптический изолятор обеспечивает пропускание света в прямом направлении почти без потерь, а в обратном с большим затуханием.

Дополнительные (кабельные) потери α_{rad} возникают из-за вариации диаметров сердцевин, показателей преломления, числовых апертур, эксцентриситетов сердцевина/оболочка и концентричностей сердцевины у волокон с разных сторон на стыках. Кроме того, кабельные потери обусловлены скруткой, деформациями и изгибами волокон, возникающими при наложении покрытий и защитных оболочек, при производстве и прокладке кабеля.

1.2 Дисперсия в волоконном световоде

Излучение внешнего источника возбуждает в ВС несколько типов волн, которые называются модами.

Дисперсия определяет ширину полосы частот, пропускаемых световодом. Дисперсия представляет собой рассеяние во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала. Основным источником возникновения дисперсии является некогерентность и конечная ширина спектра источника излучения, а также существование большого числа мод, т.е. лучей распространяющихся под разными углами по отношению к оси ВС.

В многомодовом световоде лучи распространяются по зигзагообразной траектории (рис.2,а) и имеют разную задержку на единице длины волны световода. В одномодовом волокне все лучи проходят один и тот же оптический путь (рис.2 б,в), в результате чего все они достигают приёмника одновременно, и форма сигнала практически не искажается.

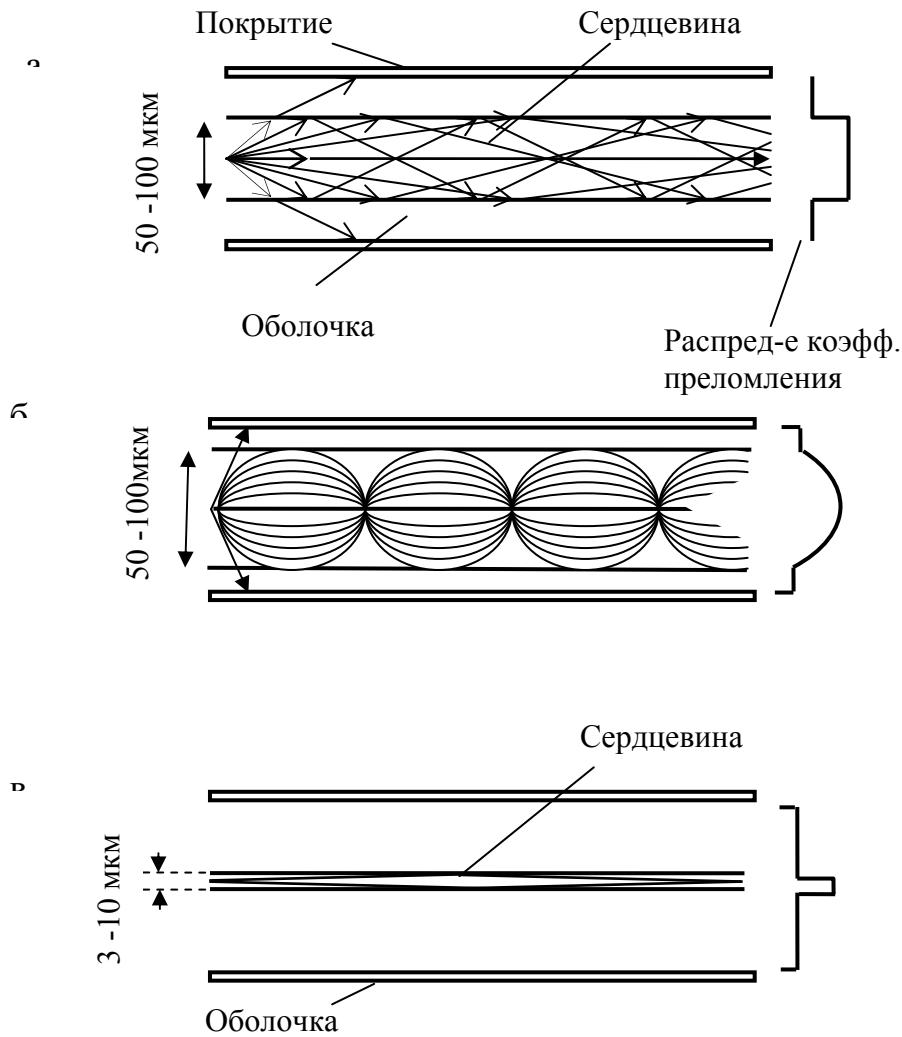


Рис.2 Оптические волокна: а – ступенчатое; б – градиентное; в – ступенчатое одномодовое

Дисперсия в ВС характеризуется тремя основными факторами (рис.3):

- различием скоростей распространения направляемых мод (межмодовой дисперсией τ_{mod});
- зависимостью условий распространения мод от λ (волновая дисперсия τ_w);
- свойствами материала оптического волокна (материальная дисперсия τ_{mat}).

Результирующая дисперсия τ определяется формулой:

$$\tau = \tau_{mod} + \tau_{chr} = \tau_{mod} + \tau_{mat} + \tau_w \quad (4).$$



Рис.3 Виды дисперсий в ВС

Для многомодовых волокон преобладает вклад модовой дисперсии и $\tau = \tau_{mod}$, а для одномодовых волокон преобладает хроматическая дисперсия, и $\tau = \tau_{mat} + \tau_w$.

Полоса пропускания ВС: $W = 0.44/\tau$ (МГц·км).

Физический смысл W – это максимальная частота модуляции передаваемого сигнала при длине ВС 1 км. Дисперсия накладывает ограничение на дальность передачи и на верхнюю частоту передаваемых сигналов. Чем меньше значение дисперсии, тем больший поток информации можно передать по волокну.

В многомодовых ВС дисперсия проявляется в виде межсимвольной интерференции на удаленном конце (рис.4).

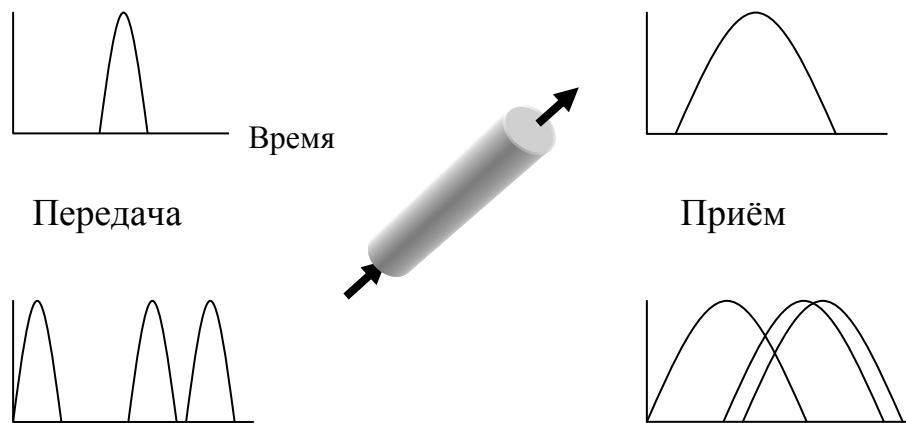


Рис.4 Влияние модовой дисперсии на форму сигнала передаваемого по световоду

Различные моды имеют различные фазовые и групповые скорости и их максимумы энергии достигают детектор в различные моменты времени. Уровень искажений зависит от того, какое количество энергии разных мод доходит в определенный момент времени до входа детектора.

При относительно большом числе распространяющихся мод для оценки числа мод используется соотношение:

$$N = V^2 / 2 \quad (5).$$

Если $V = 2.405$, то распространяется только одна мода. Если V больше, чем 2.405 , то может распространяться больше, чем одна мода. Из уравнений (2) и (5) видно, что число мод можно ограничить путём уменьшения радиуса световода a или разность показателей преломления сердцевины и оболочки.

Для многомодового волокна со ступенчатым профилем показателя преломления коэффициент широкополосности имеет порядок величины 10-100 МГц·км. При условии, что повторители расположены на расстоянии 10 км, можно передать сигнал с шириной полосы частот до 10 МГц.

В ступенчатом одномодовом волокне диаметр светонесущей жилы составляет 8-10 мкм, и сравним с длиной световой волны. В таком волокне распространяется только один луч (рис.2,в). Для одномодового режима

распространения используются окна прозрачности 1310 и 1550 нм. Распространение одной моды устраняет межмодовую дисперсию и обеспечивает высокую пропускную способность в этих окнах прозрачности.

Дисперсия и потери сигнала в одномодовом световоде значительно меньше, чем в многомодовом. Это позволяет передавать сигналы в более широкой полосе частот и на большее расстояние без повторителей. Тем не менее, одномодовые световоды используются довольно редко из-за малого диаметра сердцевин (5 - 10 мкм). Это создаёт трудности при вводе луча лазера в световод, а также при стыковке световодов.

Наиболее широко применяются многомодовые световоды с плавно изменяемым показателем преломления сердцевин – градиентные. Диаметр их сердцевин порядка 50 - 100 мкм. В градиентном световоде показатель преломления плавно снижается по мере удаления от оси по закону, близкому к квадратичной параболе. Траектория распространения большинства лучей представляют собой плавные кривые (рис.2,б). Значение модовой дисперсии у градиентного волокна значительно меньше, чем у ступенчатого, что делает его наиболее предпочтительным для использования в линиях связи.

Градиентный профиль показателя преломления дает возможность улучшить коэффициент широкополосности. Если в качестве источника света используется лазерный диод, то коэффициент широкополосности достигает 400-1000 МГц·км. Принципиальным ограничивающим фактором в этом случае является материальная дисперсия. В многомодовом волокне используется окно прозрачности 850 и 1310 нм.

Ёмкость волокна может достигать 100 Гбит/с в расчете на один битовый поток (1бит/с соответствует 1 Гц полосы). Для увеличения ёмкости используется технология волнового уплотнения (ВУ). Технология ВУ основана на свойстве волокна одновременно пропускать сигналы разных длин волн, которые не взаимодействуют между собой при распространении по волокну. Устройство волнового уплотнения выполняет функцию объединения оптических сигналов разных длин волн в одно волокно.

Передача мультиплексного сигнала на большие расстояния требует использования линейных широкополосных оптических усилителей. Линейные усилители типа EDFA (эрбиевые усилители на основе легированного эрбием волокна) могут эффективно усиливать сигнал в рабочем диапазоне от 1530-1560 нм.

Если пропустить по одному волокну 80 таких потоков, то эквивалентная емкость волокна возрастает до 8 Тбит/с. В волоконно-оптической кабеле (ВОК) с 20 волокнами можно создать 10 симметричных двунаправленных канала. Таким образом, при ёмкости 8 Тбит/с на волокно общая ёмкость ВОК составляет 80 Тбит/с.

Многомодовые ВС находят применение в локальных сетях. Одномодовые ВС – в протяжённых сетях и супермагистральных.

2 Модель волоконно-оптической системы передачи

Волоконно-оптическая система передачи (ВОСП) аналогична беспроводной системе передачи. На рис.5 представлена упрощенная модель ВОСП.

Передача сигналов в ВОСП осуществляется в аналоговой или цифровой форме. Аналоговая форма находит применение при передаче сигналов в их естественной форме. Для передачи сигнала в цифровой форме используется два или более уровней интенсивности светового луча.

Функции каждого блока на схеме рис.5 следующие. При помощи источника излучения и модулятора (лазерный диод или светоизлучающий диод – СИД) электрический сигнал с источника информации преобразуется в оптический. Может использоваться внутренняя модуляция в самом источнике излучения за счёт модуляции тока накачки лазера по закону соответствующему передаваемому сигналу. Луч вводится в ОВ при помощи фокусирующей линзы. Затухание сигнала в ВС компенсируется при помощи повторителей, расположенных на определённом расстоянии в зависимости от

величины затухания и ширины полосы передаваемого сигнала. С выходного конца ОВ луч фокусируется на фотоприёмнике.

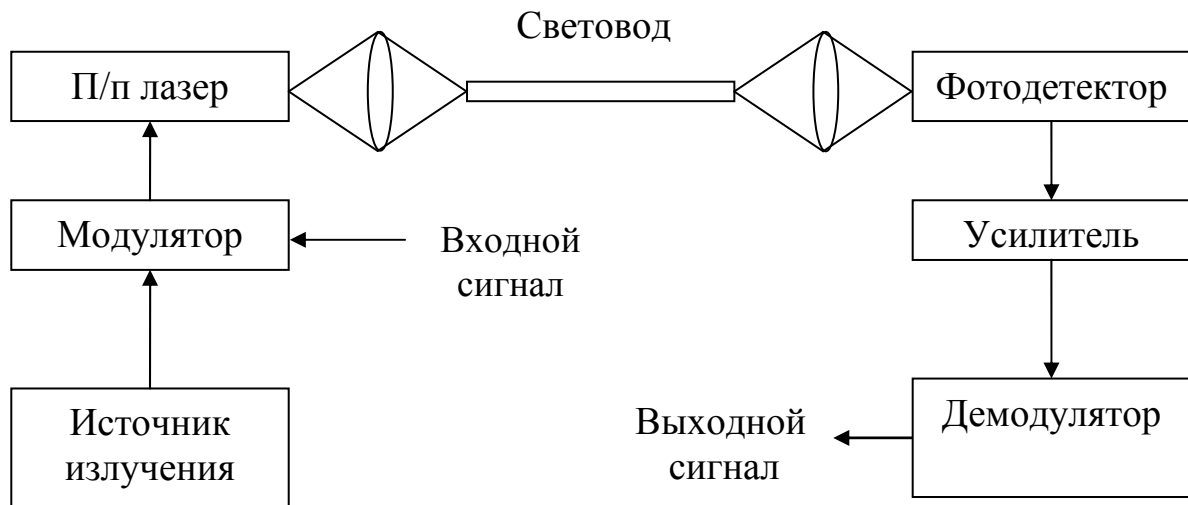


Рис. 5 Модель волоконно-оптической системы передачи

В качестве фотоприёмника используется PIN-диод или лавинный фотодиод (ЛФД). PIN-диод (P,I,N – полупроводники соответствующего типа в структуре диода) конструктивно проще и менее чувствителен к влиянию окружающей среды, так как не имеет внутреннего усиления. ЛФД — более сложен и более чувствителен к изменению условий окружающей среды, но может обеспечить 10-20 дБ дополнительного усиления.

Демодулятор предназначен для декодирования сигнала и выделения сигнала тактовой частоты.

2.1 Кодирование информации

В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Оптическое волокно, а также оптоэлектронные компоненты фотоприемника и оптического передатчика накладывают ограничения на свойства передаваемого цифрового сигнала. Поэтому информация, передаваемая по ВС, должна быть соответствующим образом кодирована.

На выбор кода влияют следующие причины:

- нелинейность модуляционной характеристики и температурная зависимость излучаемой оптической мощности лазера (кодированный сигнал может быть многоуровневым);

- код не должен иметь каких-либо ограничений на передаваемое сообщение и обеспечивать однозначную передачу любой последовательности нулей и единиц;

- в энергетическом спектре сигнала содержание информации о тактовом синхросигнале должно быть минимальным;

- код должен обеспечивать возможность обнаружения и исправления ошибок.

Чтобы различить биты информационного сигнала в приёмнике необходимо, чтобы приемник и передатчик были синхронизованы. Для этого вместе с информационным сигналом по линии должна передаваться информация о тактовой частоте.

Осуществить синхронизацию тем проще, чем больше число переходов логического уровня в цифровом сигнале.

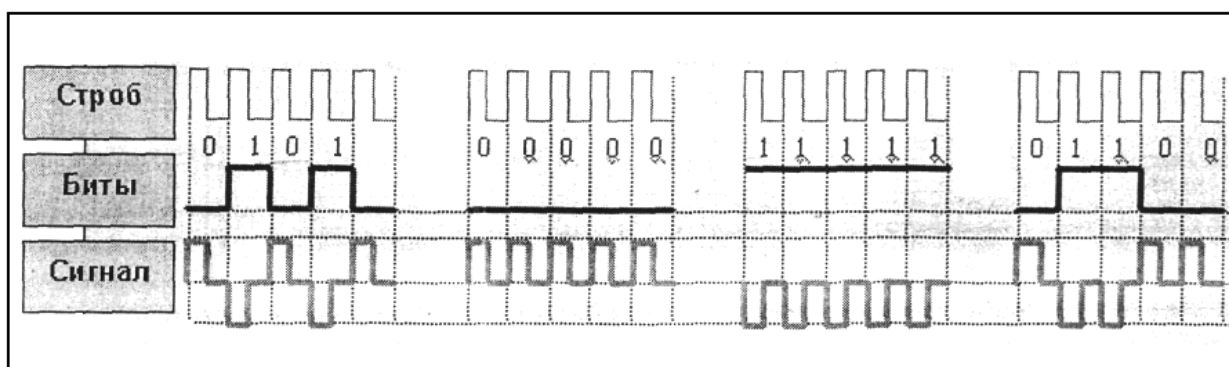


Рис. 4 Трехуровневый код RZ

Лучшим с точки зрения восстановления тактовой частоты и простоты реализации схемы выделения синхронизирующей информации, является сигнал, имеющий в энергетическом спектре дискретную составляющую на тактовой частоте.

Один из примеров такого кода – RZ код. Это трехуровневый код, обеспечивающий возврат к нулевому уровню после передачи каждого бита

информации. Его так и называют: кодирование с возвратом к нулю (Return to zero). Логическому нулю соответствует положительный импульс, логической единице - отрицательный (рис. 4).

Информационный переход осуществляется в начале бита, возврат к нулевому уровню – в середине бита. Особенностью кода RZ является то, в центре бита всегда есть переход (положительный или отрицательный). Следовательно, каждый бит обозначен. Приемник может выделить синхроимпульс (строб), имеющий частоту следования импульсов, из самого сигнала. Привязка производится к каждому биту, что обеспечивает синхронизацию приемника с передатчиком. Такие коды, несущие в себе строб, называются самосинхронизирующимися.

Недостаток кода RZ состоит в том, что он не дает выигрыша в скорости передачи данных. Для передачи с скоростью 10Мбит/с требуется частота несущей 10 МГц. Кроме того, для различения трёх уровней необходимо лучшее соотношение сигнал/шум на входе в приёмник, чем для двухуровневых кодов.

Часто код RZ используется в оптоволоконных сетях. При передаче света не существует положительных и отрицательных сигналов, поэтому используют три уровня мощности световых импульсов. Возврат в середине бита происходит не к нулевому, а к некоторому промежуточному уровню мощности света. Это означает наличие постоянной составляющей светового потока в линии, что повышает требования к соотношению сигнал/шум на входе приёмника и усложняет гальваническую развязку в электронных цепях.

Код NRZ (Non Return to Zero) - без возврата к нулю - это простейший двухуровневый код. Нулю соответствует нижний уровень, единице – верхний. Информационные переходы происходят на границе битов. Достоинство кода – простота. Сигнал не надо кодировать и декодировать.

Скорость передачи данных и частота изменения сигнала не одинаковы. При передаче последовательности одинаковых битов частота изменения

сигнала равна нулю. Наибольшая частота соответствует последовательности чередующихся нулей и единиц.

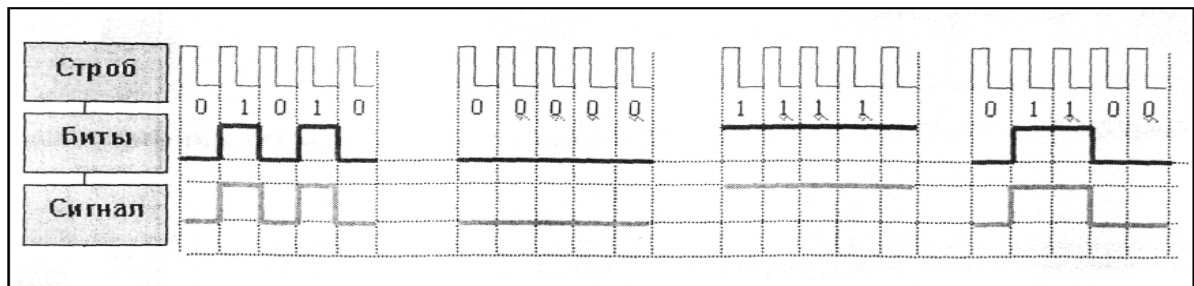


Рис. 5 Двухуровневый код NRZ

Код NRZ не имеет синхронизации. Это является самым большим его недостатком. Если тактовая частота приёмника отличается от частоты передатчика, синхронизация пропадает, биты преобразуются и данные теряются.

Поэтому код NRZ используется только для передачи короткими пакетами (обычно до 1 Кбит). Для синхронизации начала приёма пакета используется стартовый служебный бит, уровень которого отличается от пассивного состояния линии связи (например, пассивное состояние линии при отсутствии передачи - 0, стартовый бит - 1). Наиболее известное применение кода NRZ – стандарт RS232-C, последовательный порт персонального компьютера. Передача информации в нем ведется байтами, сопровождаемыми стартовым и стоповым битами.

Код Манчестер-II. Наибольшее распространение в локальных сетях получил манчестерский код. Два уровня сигнала и самосинхронизация обеспечивают ему лучшую помехозащищенность.

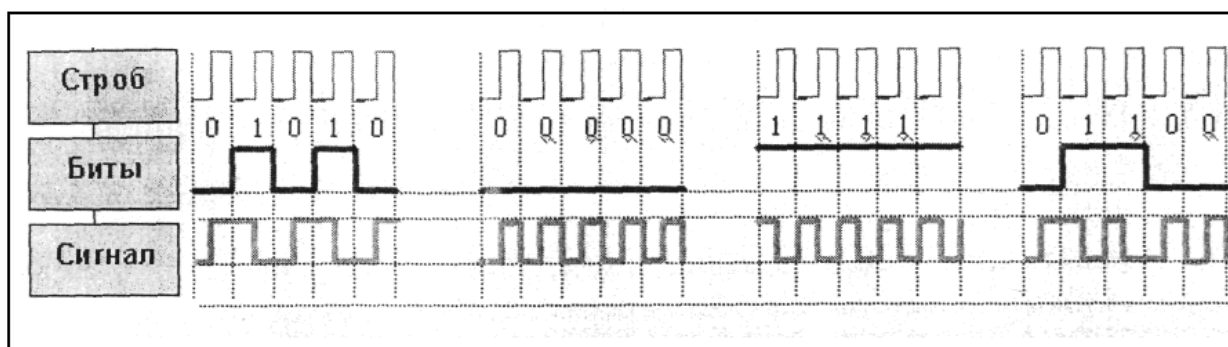


Рис. 6 Двухуровневый код Манчестер-II

Логическому нулю соответствует переход на верхний уровень в центре битового интервала, логической единице – переход на нижний уровень. Логика кодирования хорошо видна на примере передачи последовательности чередующихся единиц и нулей (рис.6). Изменение сигнала в центре каждого бита позволяет легко выделить синхросигнал. При передаче чередующихся битов частота следования уменьшается в два раза. Переходы в середине информационного бита остаются, а граничные (на границе битовых интервалов) отсутствуют. Импульсы тактовой частоты синхронизируются с информационными импульсами, и обеспечивают запрет нежелательных граничных переходов.

Самосинхронизация дает возможность передачи больших пакетов информации без потерь из-за различий тактовой частоты передатчика и приёмника.

Большое достоинство манчестерского кода – отсутствие постоянной составляющей при передаче длинной последовательности единиц и нулей. Благодаря этому гальваническая развязка сигналов выполняется простейшими способами, например, с помощью импульсных трансформаторов.

Частотный спектр сигнала при манчестерском кодировании включает в себя только две частоты: при скорости передачи 10 Мбит/с - это 10 МГц (соответствует передаваемой цепочке из одних нулей или из одних единиц) и 5 МГц (соответствует последовательности из чередующихся нулей и единиц:

101010...). Поэтому с помощью полосовых фильтров можно легко отфильтровать все другие частоты (помехи, наводки, шумы).

Код Манчестер-II нашёл применение в оптоволоконных и электропроводных сетях. Самый распространённый протокол локальных сетей Ethernet использует именно такой код.

Код РАМ 5. Рассмотренные выше схемы кодирования сигналов были битовыми. При битовом кодировании каждому биту соответствует определённый уровень сигнала. При байтовом кодировании уровень сигнала задают два бит или более.

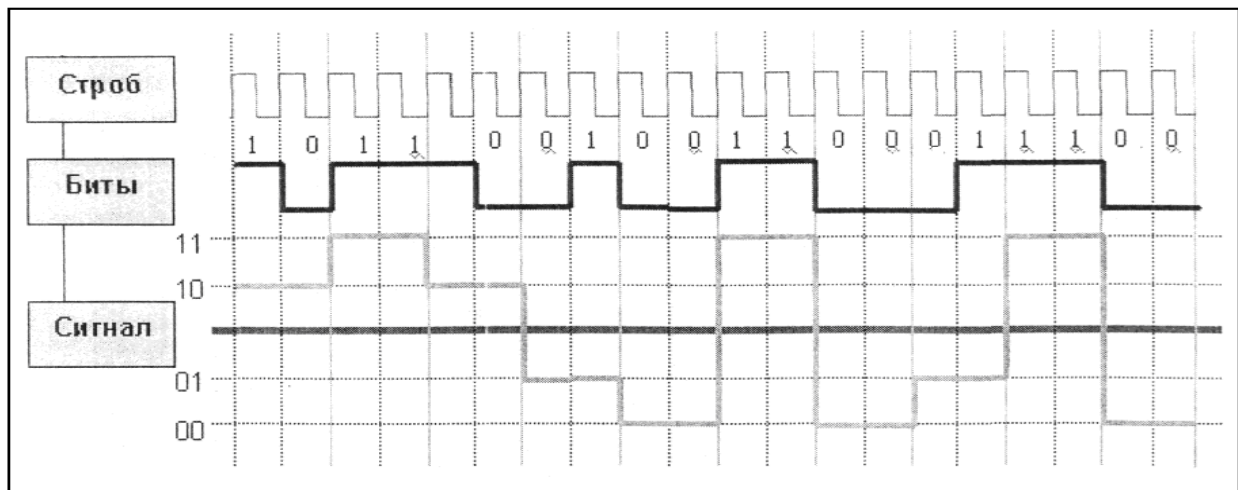


Рис.7 Пятиуровневый код РАМ 5

В пятиуровневом коде РАМ 5 используется 5 уровней амплитуды и двухбитовое кодирование. Для каждой комбинации задается уровень напряжения. При двухбитовом кодировании для передачи информации необходимо четыре уровня (два во второй степени 00,01,10,11). Передача двух битов одновременно обеспечивает уменьшение в два раза частоты изменения сигнала. Пятый уровень добавлен для создания избыточности кода, и предназначен для исправления ошибок. Это даёт дополнительный резерв соотношения сигнал / шум равный 6 дБ.

2.2 Устройства волнового уплотнения и оптические разветвители

Работа устройств волнового уплотнения основано на свойстве волокна пропускать множество волн, которые распространяются по волокну, не взаимодействуя между собой. Применение метода волнового мультиплексирования позволяет увеличить широкополосность одного оптического канала в десятки раз.

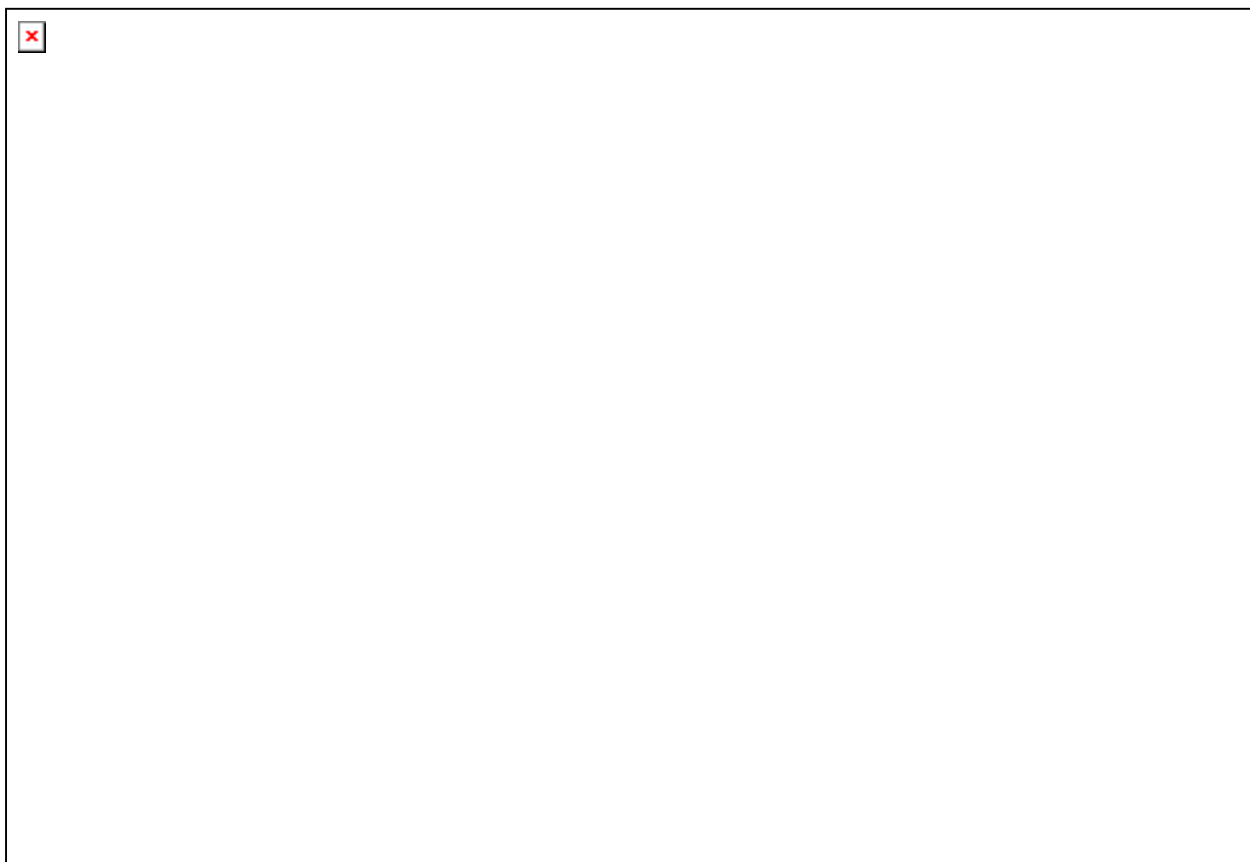


Рис.8 Устройства волнового уплотнения

Суть метода состоит в том, что на входе канала потоки данных с помощью специального устройства (мультиплексора) объединяются в одно целое, а на выходе – разделяются (демультиплексирование) и восстанавливаются в прежнем виде (рис.8). Число потоков может быть достигать нескольких десятков. Увеличение пропускной способности канала достигается за счёт увеличения числа волн разной длины. Таким образом пропускная способность увеличивается до 14 Тбит/с.

Одним из наиболее важных устройств, относящихся к пассивным компонентам ВОСП, является оптический разветвитель (рис.9). Разветвители используются при построении распределённых волоконно-коаксиальных сетей кабельного телевидения, а также в полностью оптических сетях (не использующих регенераторов и повторителей).



Рис. 9 Типы оптических разветвителей

Оптический разветвитель представляет собой многополюсное устройство, в котором излучение, подаваемое на часть входных оптических полюсов, распределяется между его остальными оптическими полюсами.

Различают направленные и двунаправленные разветвители, а также разветвители, чувствительные к длине волны и нечувствительные. В двунаправленном разветвителе каждый полюс может работать или на приём или на передачу сигнала, или осуществлять приём и передачу одновременно. Основные категории оптических разветвителей (рис.9.):

- Древоподобный разветвитель – осуществляет расщепление одного входного оптического сигнала на несколько входных или выполняет

обратную функцию. Количество выходных портов может находиться в пределах от 2 до 32. Большинство древовидных разветвителей двунаправленные, поэтому могут выполнять функцию объединения сигналов.

- Разветвитель имеет одинаковое количество входных и выходных полюсов. Предназначен для распределения мощности в равной степени между всеми выходными полюсами.
- Ответвитель предназначен для распределения выходной мощности между выходными полюсами необязательно в равной степени.

3 Устройство распределения аналоговых данных

«Электроника -8401»

Устройство предназначено для передачи по оптоволоконному линейному тракту цифровых сигналов и многоканального преобразования их в аналоговые сигналы на приёмном конце тракта. Число выходных каналов аналогового тракта – 8. Диапазон изменения выходных аналоговых сигналов ± 10.24 В. Формат входного информационного слова:

- информация: двенадцать разрядов двоичного кода;
- номер канала: три двоичных разряда;
- резерв: четыре двоичных разряда.

Максимальное время преобразования информации по одному каналу 15 мкс. Длина оптоволоконного тракта 300 м.

В состав устройства входят (рис.10): передатчик-преобразователь (ПДП), модуль волоконно-оптический (МВО), приёмник и блок распределения данных (РД). Передающий блок формирует и кодирует информационные послылки. Передатчик переводит информационный сигнал в оптический тракт. Приёмник распознаёт информационные послылки, а блок обработки данных декодирует их и формирует аналоговые выходные сигналы.



Рис.10 Функциональная схема ВОСП «Электроника 8401»

3.1 Передатчик – преобразователь

Передающий блок (мультиплексор МП-8-19) имеет пятнадцатиразрядный вход данных и один информационный выход в формате Манчестер-II (рис.11). Назначение блока – адаптация информационного слова для последующей транспортировки в оптический тракт.

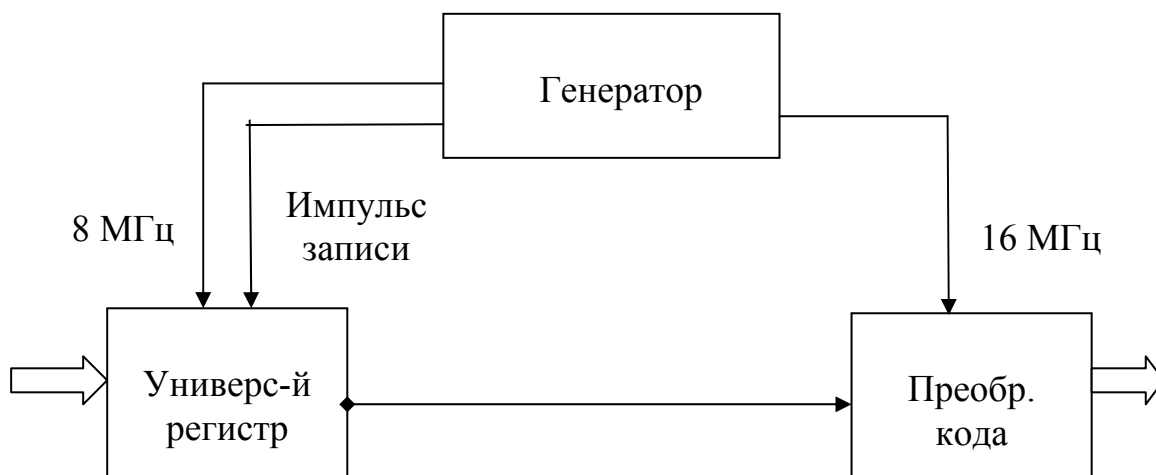


Рис. 11 Функциональная схема передающего блока

На параллельные входные каналы универсального регистра (УР) поступает информационное слово в уровнях ТТЛ, подлежащее преобразованию в аналоговый сигнал. Одновременно с генератора подаётся сигнал с тактовой частотой 8МГц на тактирующие входы регистра, и импульс записи на вход выбора режима УР.

Синхронный параллельный ввод информации осуществляется при подаче на вход выбора режима УР высокого уровня ТТЛ. С приходом периода тактовой частоты происходит заполнение регистра. По окончании импульса

записи под воздействием сигнала тактовой частоты происходит последовательный вывод информации из УР в NRZ – коде. Эта кодовая последовательность поступает на вход преобразователя кода (ПК). Одновременно на другой вход ПК с генератора поступает сигнал с двойной тактовой частотой 16МГц. В ПК происходит преобразование NRZ – кода в последовательный код Манчестер-II.

Передачик предназначен для преобразования выходного сигнала передающего блока в оптические импульсы и введение импульсов в оптический тракт. В него входят устройство согласования, генератор тока накачки и лазерный диод.

3.2 Приёмник и блок обработки данных

Оптический приёмник необходим для извлечения информационной посылки из оптического тракта и преобразование его в электрический сигнал с уровнями TTL.

Приёмник содержит: фотодетектор, для преобразования оптического сигнала в электрический и малошумящий усилитель, для усиления электрического сигнала до номинального значения. Усиленный сигнал через фильтр, формирующий частотную характеристику приёмника, поступает в устройство линейной коррекции ЛК. При линейной коррекции компенсируются частотные искажения электрической цепи на стыке фотодиода и первого транзистора усилителя. На выходе приёмника получается электрический сигнал, соответствующий оптическому сигналу в коде Манчестер-II. Далее ифровая последовательность поступает в блок обработки данных (рис.12), где происходит преобразование кода Манчестер-II в NRZ-код.

Во входном устройстве (ВУ) выделяется тактовая частота 8 МГц, синхронизирующая работу преобразователя последовательного кода (ППК) и регистра памяти (РП).

При заполнении ППК входной импульсной последовательностью, и приходом следующего информационного кадра, происходит сравнение двух принимаемых кадровых посылок. При правильно принятой информации ППК выработывает импульс записи, поступающий на вход «Выбор режима» регистра памяти.

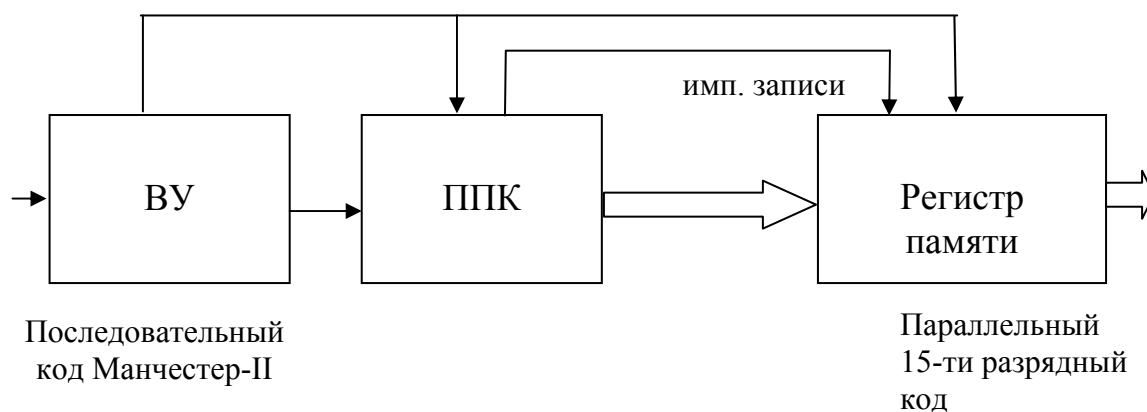


Рис.12 Функциональная схема блока обработки данных

Регистр памяти представляет собой четыре четырехразрядных регистра К133ИР1, работающих в режиме параллельной загрузки. С приходом импульса тактовой частоты принятая информация записывается в регистр памяти и выдается на общую информационную шину в параллельном пятнадцатиразрядном коде.

3.3 Устройство для цифро-аналогового преобразования и распределения аналоговых данных

“Электроника 8401” обеспечивает передачу сигнала в цифровой форме и преобразование в аналоговую форму на выходе устройства. Это необходимо, например, для управления работой электроприводных устройств в производственных условиях. Для управления несколькими удалёнными объектами требуется разделение сигнала, передаваемого по одной линии, на несколько выходных каналов.

Система передачи обеспечивает возможность управления восемью удалёнными аналоговыми устройствами. Для этого три бита

информационного слова из пятнадцати забронированы под определение номера выходного канала. Необходимо дешифровать номер канала и выполнить цифро-аналоговое преобразование (ЦАП) информационного кода.

Устройство распределения аналоговых данных (рис. 13) состоит из четырех функциональных блоков:

- 1) Дешифратор номера канала с восемью выходами для управления соответствующими ЦАП;
- 2) Двенадцати - канальная микросхема ЦАП К572ПА2 умножающего типа с выходом по току;
- 3) Схема преобразования ток-напряжение (ПТН);
- 4) Схема формирования опорного напряжения (ФОН).

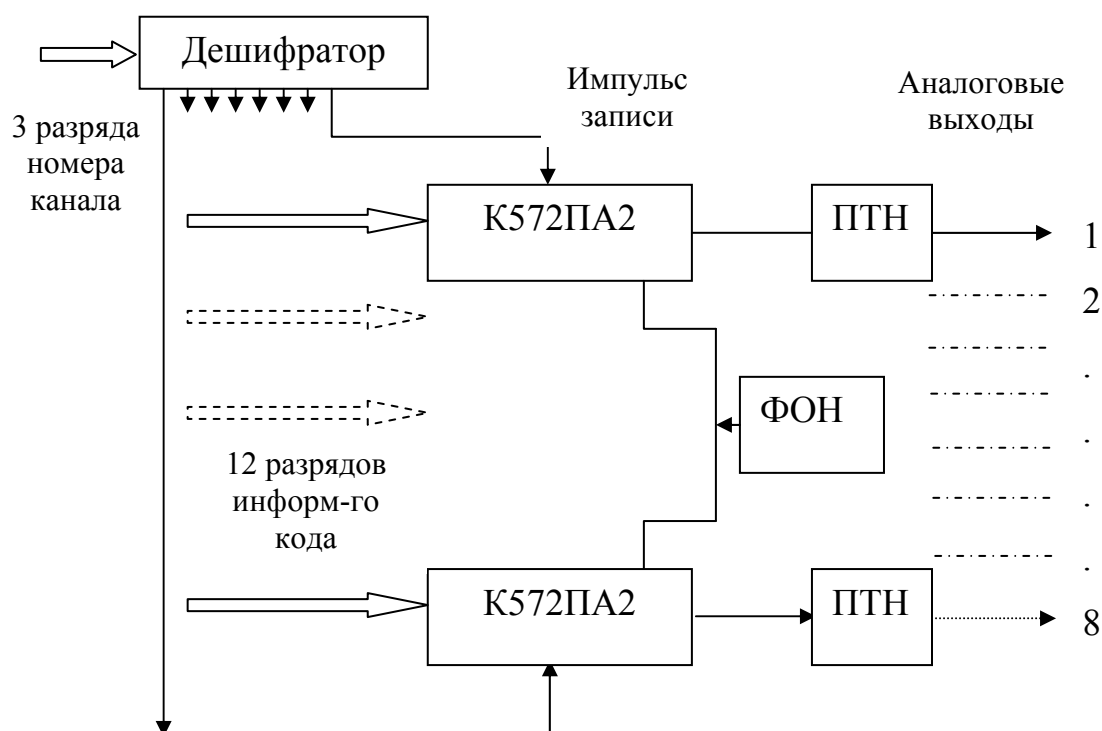


Рис. 13 Функциональная схема устройства распределения аналоговых данных

Разряды номера канала анализируются дешифратором. Формируется импульс записи в регистр выбранного ЦАП. Цифро-аналоговый преобразователь имеет токовый выход. Выходной ток ЦАП подается на схему преобразования «ток-напряжение». Выходное аналоговое напряжение подключается к нагрузке.

Напряжение на выходе данного канала будет устойчивым до тех пор, пока в регистр цифро-аналогового преобразователя не поступит импульс записи для загрузки данных. Далее напряжение на выходе ЦАП будет изменяться в соответствии с информационным кодом на его входах. В таблице приводится соответствие двоичного кода аналоговому напряжению на выходе устройства и вес каждого разряда в мВ.

Разряды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Аналоговое напряжение В	
Информационный двоичный код	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.235	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	10.230	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	10.220	
	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	
	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-10.225
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-10.235
	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	-10.240
Вес разряда, мВ	+	5120	2560	1280	640	320	160	80	40	20	10	5		

4. Практическая часть

Схема лабораторной установки изображена на рис.14. Составной частью в неё входит ВОСП «Электроника -8401».

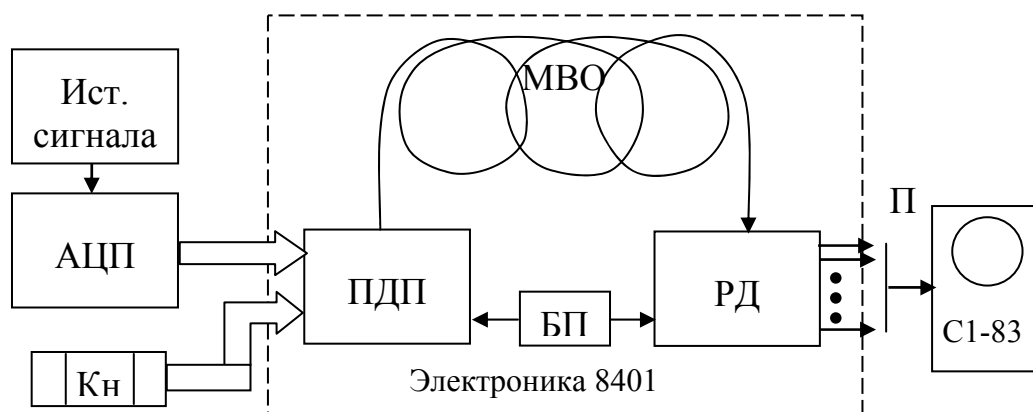


Рис.14 Схема лабораторной установки

Назначение блоков на рис.14 следующее: источник сигнала задаёт аналоговое напряжение $U(t)$ на входе АЦП Ф-5048. АЦП преобразует его в 9-ти разрядное двоичное слово. Номер выходного канала устанавливается кнопками Кн. Сформированное 12-ти разрядное слово преобразуется в код Манчестер-II и передаётся через волоконно-оптический модуль (МВО) к устройству преобразования и распределения данных РД. МВО представляет собой 300-метровый волоконно-оптический кабель с многомодовым ОВ. Аналоговое напряжение, соответствующее входному напряжению $U(t)$, будет выдаваться на любой из 8 выходов РД, в зависимости от состояния кнопочного переключателя Кн. Подключение соответствующего выхода к входу осциллографа производится при помощи переключателя П. Уровень выходного напряжения на выходе устройства контролируется по экрану осциллографа. Блок питания БП задаёт необходимые напряжения питания для устройства «Электроника -8401».

3.1 Задание по практической части

1. Включить питание приборов входящих в установку.
2. Проверить работоспособность ВОЛС. Для этого: установить номер выходного канала переключателем Кн. Нажатая кнопка – состояние разряда 1, отжатое – 0 (например: 011 соответствует каналу 4). Подключить вход

осциллографа к выходу соответствующего канала переключателем П. Изменяя напряжение на выходе источника Б5-29 в пределах от 0 до максимального с шагом 0.5 В, проверить соответствие формы и уровня входного и выходного сигналов, передаваемых по ВОСП. Построить зависимость $U_{\text{ВЫХ}}$ от $U_{\text{ВХ}}$.

3. Проверить соответствие уровня $U_{\text{ВХ}}$ коду Манчестер –П. Для этого подключить вход осциллографа к разъёму Р на блоке РД, через который выводится сигнал в виде последовательности импульсов кода.

Литература

1. Р.Р.Убайдуллаев "Волоконно-оптические сети". М.:- Эко-Трендз. 1998.- с.7 – 92.
2. Слепов Н.Н. "Оптическое мультиплексирование с разделением по длине волны" // Сети.- 1999, №4.- с.24-31.
3. Анпилогов В.Р., Гольберг Б.С. Диденко М.Г. Волоконно-оптические линии связи в современных телекоммуникационных системах // Технология и средства связи.2000, № 1.- с.47-56.
4. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. М.:Изд-во "Syrus Systems",1999. -672 стр.
5. <http://kunegin.narod.ru/ref3/vols/3.htm>