ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Исследование линейных кодов ВОСП

1 Цель работы:

1.1 Исследовать параметры и характеристики линейных кодов Bi-0, RZ-AMI, NRZ-M, NRZ-L.

2 Подготовка к работе:

2.1 Изучить теоретический материал, относящийся к данной работе по электронной лабораторной работе, литературе и приложению к работе.

2.2 Подготовить бланк отчета.

3 Порядок выполнения работы:

Часть 1

1 Пройдите тест электронной лабораторной работы.

2 Используя любые специализированные программные среды (MathCad, MATLAB, LabView или др.) или языки программирования, сгенерируйте импульсный сигнал с тактовой частотой синхронизации 10 ГГц в соответствии с линейными кодами Bi-0 (Manchester), RZ-AMI, NRZ-M, NRZ-L. Определите спектр сигнала и ширину спектра сигнала. Заполните таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры спектра линейного кода

Метод кодирования	Ширина спектра
NRZ-L	
Bi_0-L (Manchester)	
RZ-AMI	
NRZ-M	

3 Измерьте и запишите в таблицу 2 первую частоту гармоники с нулевой амплитудой сигнала (нуль после первого «лепестка» спектра) для каждого кода.

Таблица 2 – Значения параметров первой гармонии

Метод кодирования	Частота первого нуля (частота сигнала битовой синхронизации)
NRZ-L	
Bi_0-L	
RZ-AMI	
NRZ-M	

4 Определите относительное значение амплитуды гармоники с частотой сигнала битовой синхронизации в спектре кодированного сигнала (относительно максимума спектра).

Таблица 3 – Частота синхроимпульсов

Метод кодирования	Относительное значение амплитуды сигнала битовой синхронизации (в дБ)
NRZ-L	
Bi_0-L	
RZ-AMI	
NRZ-M	

5 Сделайте выводы по результатам полученных значений по каждой таблице.

Часть 2

1 Запустите программу OptiSystem.

Целью задания будет собрать и исследовать схему 16 канальной системы WDM, которая приведена на рисунке 1.

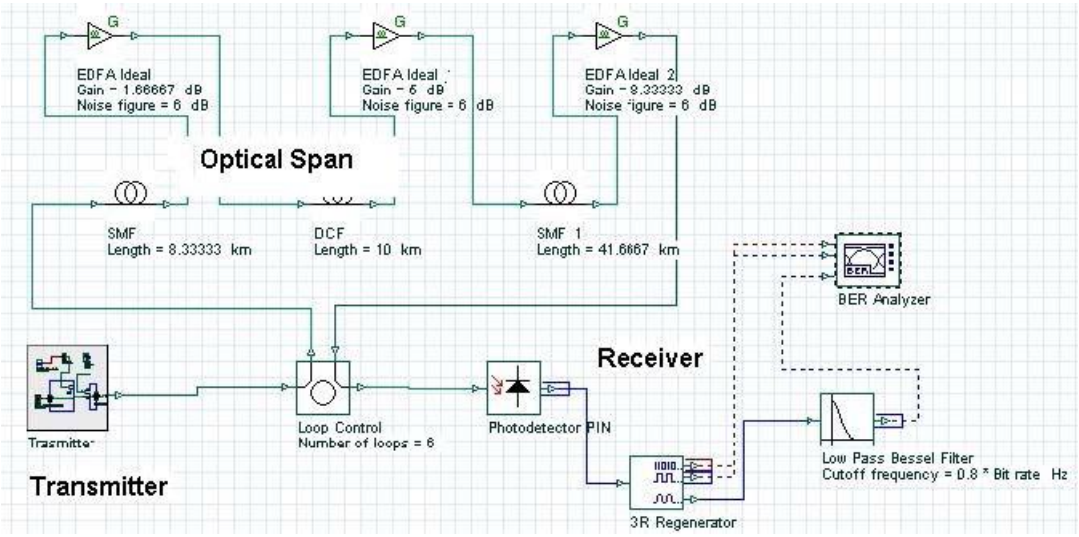


Рис. 1 Схема 16 канальной системы WDM

Тремя основными блоками системы связи являются передатчик (Transmitter), участок ВОЛС (Optical Span) и приемник (Receiver). Сначала соберем эти три составляющие по отдельности.

2 Соберите схему оптического передатчика (Transmitter), которая приведена на рисунке 2.

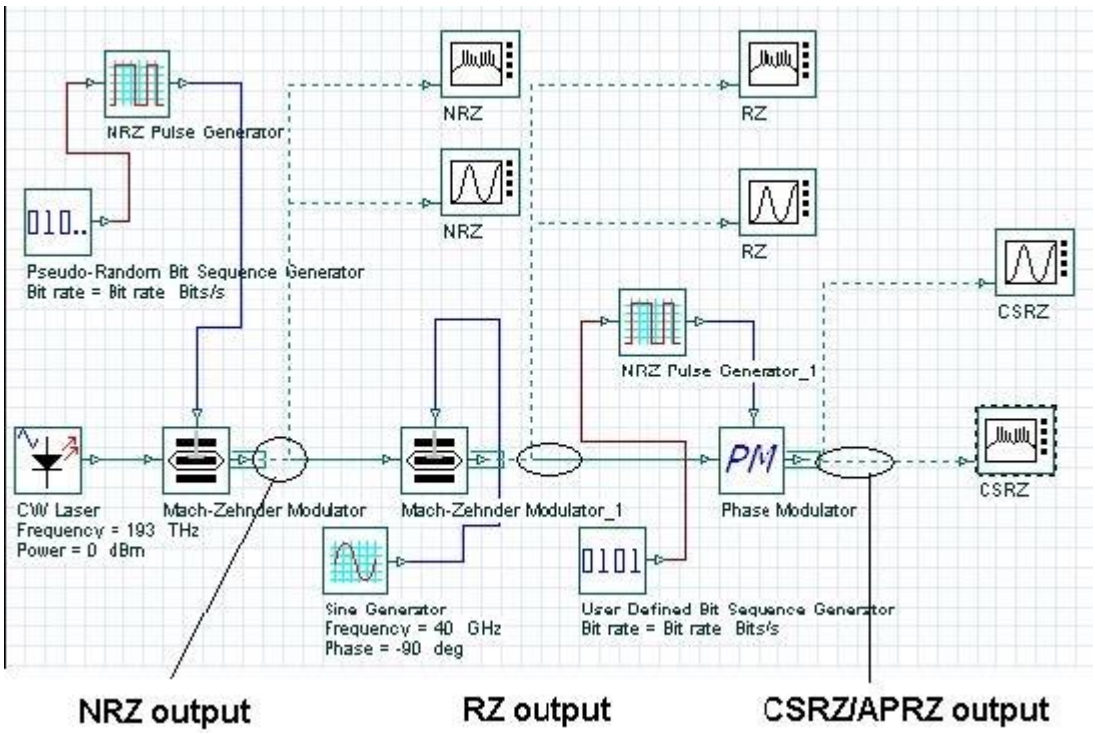


Рис. 2 Схема оптического передатчика с внешней модуляцией

Процесс преобразования потока цифровых данных в последовательность световых импульсов (где наличие импульса соответствует “1”, а отсутствие импульса соответствует “0”) известен как модуляция. При скорости передачи данных до 40 Гбит/с (рассматриваемой здесь) прямое включение и выключение лазера (известное как прямая модуляция) невозможно из-за переходных эффектов, происходящих внутри лазера. Поэтому мы используем внешнюю модуляцию, что означает, что лазер будет работать в режиме постоянной амплитуды волны излучения, а внешнее устройство (модулятор) преобразует это излучение в последовательность оптических импульсов.

Параметр отклонения фазы фазового модулятора установлен на 180°. Модулятор, показанный на рисунке 1, имеет три ступени. После каждого этапа создаются форматы модуляции, известные как форматы модуляции NRZ (без возвращения к нулю), RZ (с возвращением к нулю) и CSRZ (подавление несущей – с возвращением к нулю).

В отчет вставьте осциллограмму каждого из трех линейных кодов и их справа от нее спектрограмму соответствующего кода.

3 Соберите схему участка ВОЛС (Optical Span), которая приведена на рисунке 3.

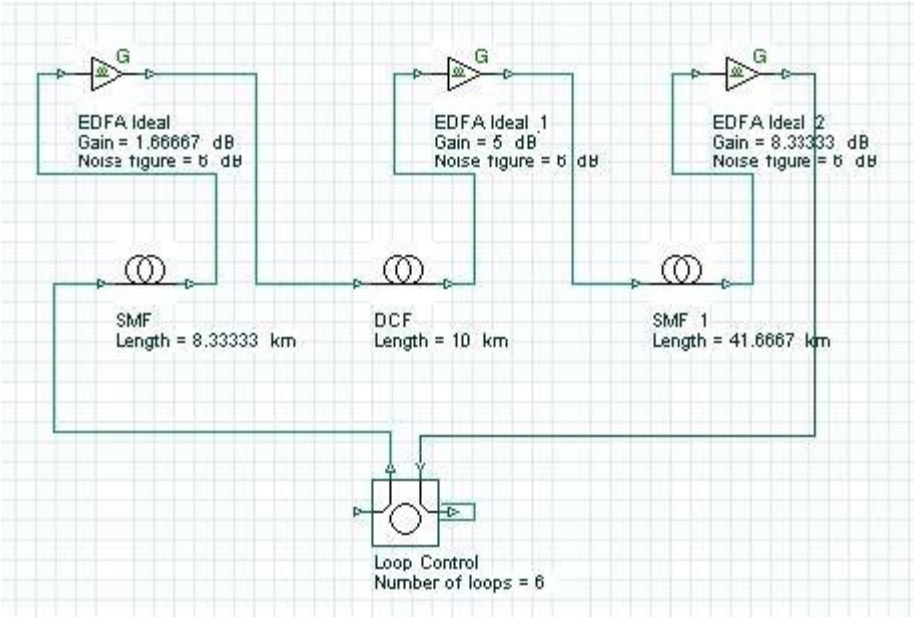
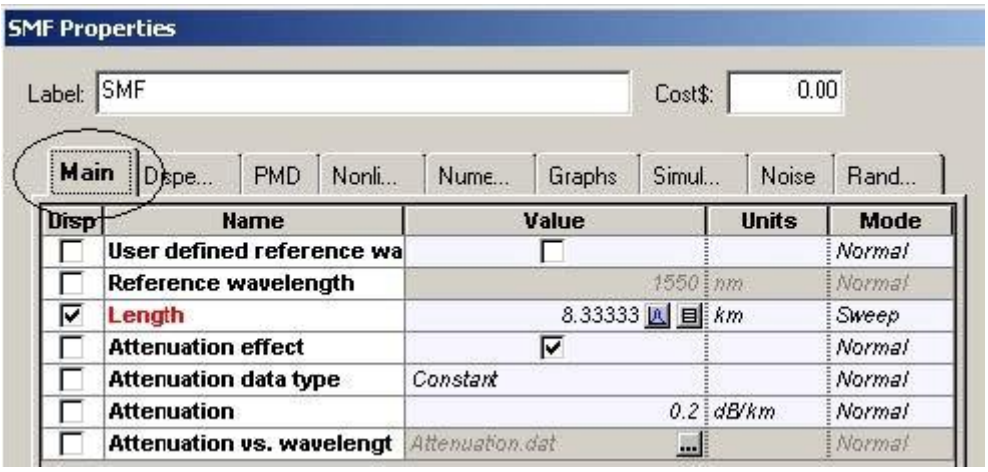
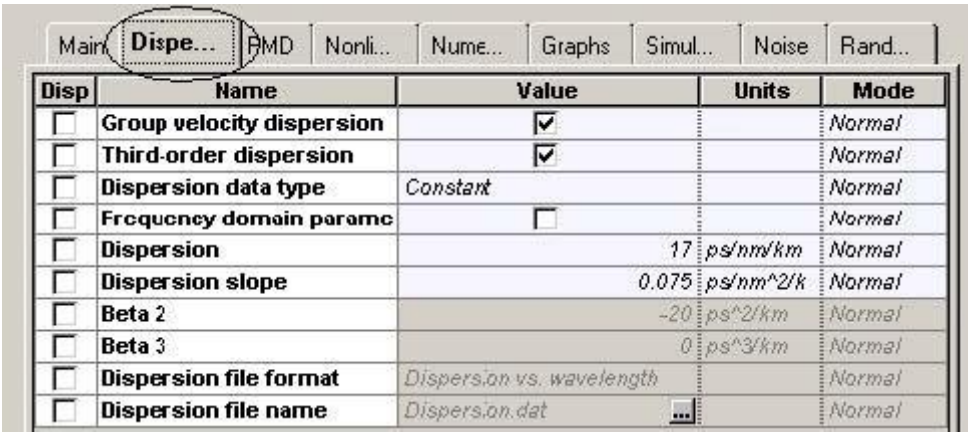


Рис 3. Схема оптической секции

Параметры блоков выставите в соответствии с рисунками ниже. Показатель шума усилителей должен быть установлен на уровне 6 дБ.





Main | Dispe... | **PMD** | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Birefringence type	Deterministic		Normal
☐	Differential group delay	0.2	ps/km	Normal
☐	PMD coefficient	0.5	ps/(km)^0.5	Normal
☐	Mean scattering section le	500	m	Normal
☐	Scattering section dispers	100	m	Normal

Main | Dispe... | PMD | **Nonli...** | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Self-phase modulation	☑		Normal
☐	Effective area data type	Constant		Normal
☐	Effective area	70	um^2	Normal
☐	Effective area vs. wavelen	EffectiveAra.dat		Normal
☐	n2 data type	Constant		Normal
☐	n2	2.6e 020	m^2/W	Normal
☐	n2 vs. wavelength	n2.dat		Normal
☐	Self-steepening	☐		Normal
☐	Full Raman Response	☐		Normal
☐	Intrapulse Raman Scatt.	☐		Normal
☐	Raman self-shift time1	14.2	fs	Normal
☐	Raman self-shift time2	3	fs	Normal
☐	Fract. Raman contribution	0.18		Normal
☐	Orthogonal Raman factor	0.75		Normal

Main | Dispe... | PMD | Nonli... | **Nume...** | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Model type	Scalar		Normal
☐	Propagator type	Exponential		Normal
☐	Calculation type	Noniterative		Normal
☐	Number of iterations	2		Normal
☐	Step size	Variable		Normal
☐	Max. nonlinear phase shift	5	mrad	Normal
☐	Boundary conditions	Periodic		Normal
☐	Filter steepness	0.005		Normal
☐	Lower calculation limit	1400	nm	Normal
☐	Upper calculation limit	1700	nm	Normal

Рис. 4. – Параметры SMF

DCF Properties

Label: DCF Cost$: 0.00

Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	User defined reference wa	☐		Normal
☐	Reference wavelength	1550	nm	Normal
☑	Length	10	km	Normal
☐	Attenuation effect	☑		Normal
☐	Attenuation data type	Constant		Normal
☐	Attenuation	0.5	dB/km	Normal
☐	Attenuation vs. wavelengt	Attenuation.dat ...		Normal

Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Group velocity dispersion	☑		Normal
☐	Third-order dispersion	☑		Normal
☐	Dispersion data type	Constant		Normal
☐	Frequency domain parame	☐		Normal
☐	Dispersion	-85	ps/nm/km	Normal
☐	Dispersion slope	-0.3	ps/nm^2/k	Normal
☐	Beta 2	-20	ps^2/km	Normal
☐	Beta 3	0	ps^3/km	Normal
☐	Dispersion file format	Dispersion vs. wavelength		Normal
☐	Dispersion file name	Dispersion.dat ...		Normal

Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Birefringence type	Deterministic		Normal
☐	Differential group delay	0.2	ps/km	Normal
☐	PMD coefficient	0.5	ps/(km)^0.5	Normal
☐	Mean scattering section le	500	m	Normal
☐	Scattering section dispers	100	m	Normal

Main | Dispe... | PMD | Nonli... | Nume... | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	Self-phase modulation	☑		Normal
☐	Effective area data type	Constant		Normal
☐	Effective area	22	um^2	Normal
☐	Effective area vs. wavelen	EffectiveAra.dat ...		Normal
☐	n2 data type	Constant		Normal
☐	n2	2.6e-020	m^2/W	Normal
☐	n2 vs. wavelength	n2.dat ...		Normal
☐	Self-steepening	☐		Normal
☐	Full Raman Response	☐		Normal
☐	Intrapulse Raman Scatt.	☐		Normal
☐	Raman self-shift time1	14.2	fs	Normal
☐	Raman self-shift time2	3	fs	Normal
☐	Fract. Raman contribution	0.18		Normal
☐	Orthogonal Raman factor	0.75		Normal

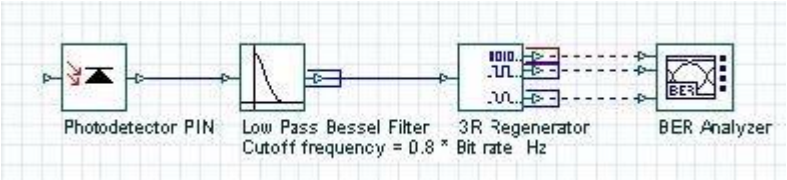
Main | Dispe... | PMD | Nonli... | **Nume...** | Graphs | Simul... | Noise | Rand...

Disp	Name	Value	Units	Mode
☐	**Model type**	*Scalar*		*Normal*
☐	**Propagator type**	*Exponential*		*Normal*
☐	**Calculation type**	*Noniterative*		*Normal*
☐	**Number of iterations**	2		*Normal*
☐	**Step size**	*Variable*		*Normal*
☐	**Max. nonlinear phase shift**	5	*mrad*	*Normal*
☐	**Boundary conditions**	*Periodic*		*Normal*
☐	**Filter steepness**	0.005		*Normal*
☐	**Lower calculation limit**	1400	*nm*	*Normal*
☐	**Upper calculation limit**	1700	*nm*	*Normal*

Рис. 5. – Параметры DCF

При скорости передачи данных 40 Гбит/с при длине волны 1.55 мкм, при условии стандартных одномодовых волокон (SMF) и гауссовых импульсов с коэффициентом заполнения 0.5, ограничение длины ВОЛС по дисперсии будет порядка 3 км. Длина линии составляет 50 км (длина волокна, компенсирующего рассеивание (DCF), не включена). Это означает, что во время распространения в пределах одной ячейки не только наблюдается сильное перекрытие между соседними импульсами, но и исходный поток битов будет полностью скремблирован из-за расширения импульса, вызванного дисперсией. Этот режим распространения, известный как «наложение импульсов», имеет очень большое практическое значение, поскольку в этом случае влияние нелинейных эффектов, возникающих из-за взаимодействия перекрывающихся импульсов, принадлежащих одному и тому же информационному каналу (известных как внутриканальные нелинейности), уменьшается. Такая концепция предполагает создать картину быстро меняющейся интенсивности света, чтобы бороться с воздействием нелинейности.

4 Соберите схему приемника, которая приведена на рисунке 6. Он состоит из PIN-фотодиода, электрического фильтра Бесселя нижних частот четвертого порядка с частотой среза 32 ГГц (скорость передачи 0,8 *бит) и анализатора BER с сохранением настроек по умолчанию. Тепловой шум фотодетектора не принимается во внимание.



5 В отчет вставьте глаз-диаграммы для каждого вида линейного кода. Постройте графики зависимости BER от величины мощности сигнала на

входе ОВ. Определите наиболее эффективный метод линейного кодирования в рассматриваемом случае.

6 Уберите из линии ОВ с компенсацией дисперсии DCF и исследуйте, как изменились результаты, в том числе BER.

4 Содержание отчета:

4.1 Цель работы.

4.2 Результаты прохождения теста.

4.3 Осциллограммы линейных кодов.

4.4 Спектральные диаграммы линейных кодов.

4.5 Заполненные таблицы. Выводы по результатам.

4.6 Схема модели ВОСП в OptiSystem

4.7 Результаты исследования

4.8 Выводы

4.9 Ответы на контрольные вопросы.

5 Контрольные вопросы:

5.1 Каково значение ширины спектра главного лепестка кода Bi-0, RZ-AMI, NRZ-M, NRZ-L?

5.2 На каких сетях применяется линейный код Bi-0, RZ-AMI, NRZ-M, NRZ-L?

5.3 У какого из линейных кодов гармоника, соответствующая частоте сигнала битовой синхронизации, наибольшая?

5.4 Какой из линейных кодов имеет вторую по величине гармонику, соответствующую частоте сигнала битовой синхронизации?

5.5 Какой из линейных кодов имеет наименьшую по величине гармонику, соответствующую частоте сигнала битовой синхронизации?

5.6 Рассчитайте разность величин гармоник (в децибелах) между наилучшим и наихудшим линейным кодом.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Линейные коды ВОСП

Линейные коды ВОСП классифицируются по степени стандартизации и применению в существующих одномодовых системах передачи с аппаратурой мультиплексирования PDH, SDH и некоторой другой, например, оптических компьютерных сетей.

Линейные коды можно классифицировать по следующим параметрам: скремблированный; безызбыточные; избыточные – 1B2B; mBnB и со вставками; двухуровневые, т.е. имеют два логических состояния; многоуровневые – имеющие более двух логических состояний (Рис.1).

Рисунок 1. Классификация линейных кодов ВОСП

Скремблированный линейный код в формате передачи NRZ (NonReturntoZero – без возврата к нулю на тактовом интервале) – является первым глобальным стандартом линейного кодирования для цифровых

ВОСП SDH. Алгоритм его формирования рассмотрен в рекомендации МСЭ-Т G.707 (1996 года). Код обеспечивает выполнение требований, предъявляемых к линейным сигналам.

Безызбыточные коды подразделяются:

- NRZ-L — точно повторяет информационную последовательность;
- NRZ-S и NRZ-M - относительные коды, т. е. изменяющие состояния в последовательности после логического нуля (S) или логической единицы (M). При передаче этих кодов скорость передачи в линии не изменяется.

Эти коды не получили широкого распространения из-за несоответствия требованиям к линейным сигналам, в частности, в связи со сложностью выделения тактовой частоты.

Под линейными кодами класса 1B2B понимают коды, в которых один бит исходного сигнала преобразуется в комбинацию из двух битов. При этом длительность этих битов в два раза меньше преобразуемого. Следовательно, тактовая частота линейного сигнала удваивается и скорость передачи в линии становится вдвое больше исходной последовательности. К линейным кодам класса 1B2B относятся:

- BI-L (биимпульсный абсолютный);
- BI-M (биимпульсный относительный M);
- BI-S (биимпульсный относительный S);
- DBI (дифференциальный бифазный);
- CMI (с инверсией групп символов);
- MCMI (модифицированный CMI) и ряд других.

Линейные коды класса mBnB, где $m \geq 2$, а $n > m$, называют алфавитными или табличными, т.к. при их формировании используются две - три таблицы кодирования, обеспечивающие балансировку числа логических символов «1» и «0». В кодах этого класса последовательность исходного сигнала разбивается на отрезки (блоки), состоящие из m бит, и преобразуется в определенную последовательность (блок) кодовых символов

n. Широкое применение получили коды 2B3B, 2B4B, 3B4B, 5B6B, 7B8B.

При формировании *кодов со вставками* предусмотрено разбиение исходной последовательности на блоки из m символов и присоединение к этим блокам дополнительных служебных символов. Примерами кодов со вставками являются: mB1C; mB1P; mB1P1R. При формировании кодов mB1C к информационным символам m добавляется один дополнительный C, который имеет значение, инверсное последнему из m.

Если последний из m будет «1», то символ C будет «0», и наоборот, если последним из m будет «0», то символ C будет «1» (3B1C, 8B1C). В кодах mB1P m – число информационных символов, P – дополнительный символ. Если число единиц в блоке m нечетное, то символ P принимает значение «1», а если нечетное, то символ P равен «0» (10B1P, 17B1P). Если требуется организация служебной связи в линейном тракте, то исходная двоичная последовательность кодируется по алгоритму mB1P, а затем добавляется еще один бит R – для служебной связи. Получается линейный код mB1P1R. Пример: 10B1P1R.

Многоуровневые коды могут применяться в оптических системах передачи при внешней модуляции излучения и также в случае строго линейных модуляционных характеристик прямой модуляции. В качестве примера можно назвать линейное трехуровневое кодирование HDB-3opt, предусмотренное рекомендацией МСЭ-Т G.703 [82].

Алгоритм формирования скремблированного линейного сигнала

Скремблированием называется операция, приводящая к изменению статистических характеристик двоичного цифрового сигнала таким образом, что бы вероятности появления 1 и 0 в скремблированном двоичном сигнале были примерно одинаковы, и при этом исключалась бы возможность появления длинной последовательности одинаковых символов 1 или 0.

Для восстановления из скремблированного сигнала исходного

двоичного сигнала необходимо произвести операцию дескремблирования обратную преобразованию в скремблере. Эта группа символов образует синхрослово. Скремблирование осуществляют при помощи устройств, реализующих логическую операцию суммирования по модулю два исходной двоичной последовательности и преобразующего опорного сигнала, в качестве которого используется псевдослучайная последовательность.

При скремблировании линейного сигнала системы SDH группа двоичных символов, расположенная в начале цикла SDH-N не подвергается скремблированию, что необходимо для распознавания цикла на приемной стороне. Обнаружение этого цикла STM-N позволяет запустить процедуру дескремблирования и восстанавливать информационный сигнал из линейного.

Основные достоинства скремблирования:

- стабильность скорости передачи по линии;
- достаточно точное выделение тактовой частоты;
- скремблер делает любой информационный сигнал помехоустойчивым при передаче по ВОЛС.

Недостаток:

- возможность размножения ошибок.

После скремблирования происходит формирование линейного сигнала NRZ. Пример формирования сигнала в коде NRZ приведен на рисунке 2.

Рисунок 2. Формирование линейного сигнала NRZ

Алгоритм формирования безызбыточных кодов.

Достоинством этих кодов является то, что они просты при формировании. Ниже приведены временные диаграммы (с их помощью закодирована одна последовательность) формирования символов линейного сигнала безызбыточных кодов (рисунок 3).Абсолютный код NRZ-L, где единицы передаются высоким логическим уровнем на всем тактовом интервале.

Абсолютный код RZ-L, с возвращением к нулю (пятьдесят процентов -время передачи импульсной посылки на тактовом интервале).

Относительный код NRZ-S - изменение состояния происходит только при низком уровне сигнала: единичная посылка не меняет состояние. Нуль меняет передаваемый символ на противоположный.

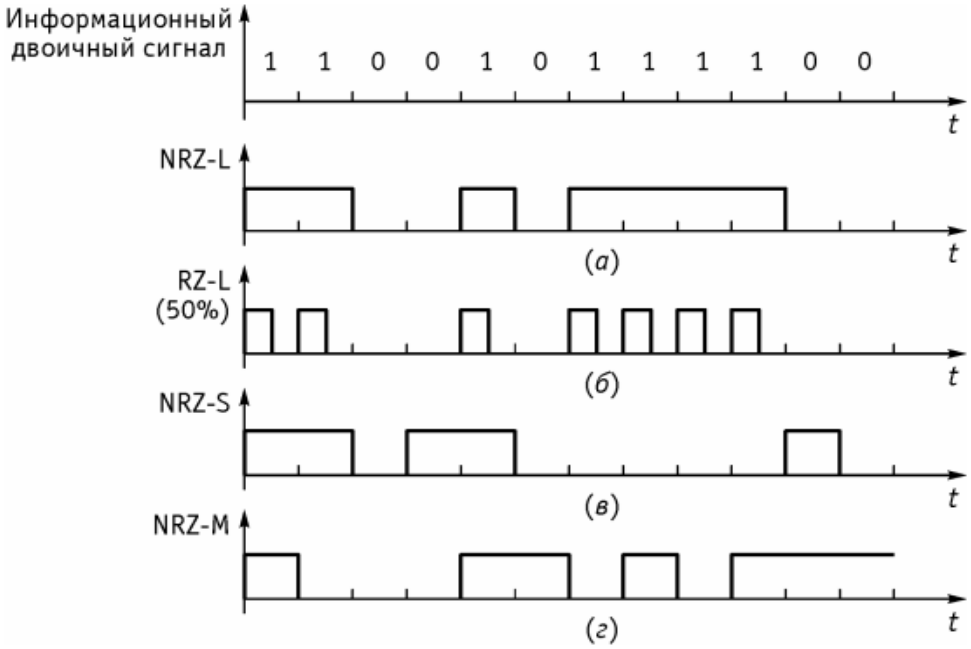


Рисунок 3. Примеры формирования безызбыточных кодов NRZ

Относительный код NRZ-M: управление состоянием линейного кода высоким уровнем информационного сигнала и не зависит от низкого уровня информационного сигнала. Каждая информационная единица меняет состояние на выходе кодера.

Применение безызбыточных кодов не устраняет длинных серий единиц или нулей в линейном сигнале.

Безызбыточность исключает возможность контроля за качеством работы регенераторов без прерывания связи, поскольку любые комбинации импульсов и пауз при таком кодировании являются разрешенными. Безызбыточные коды формата NRZ редко применяют в оптических системах передачи ввиду того, что в спектре присутствуют постоянные составляющие (низкочастотные спектральные составляющие), которые подавляются и в оптических передатчиках и в оптических приемниках, что сильно искажает информационный сигнал.