МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Автоматизация производственных процессов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

И ЗАДАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 02

Заочная формы обучения

Основная профессиональная образовательная программа высшего образования: программа магистратуры по направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Профиль: «Интеллектуальные системы сбора и обработки информации»

Дисциплина: «Основы промышленных сетей»

Ростов-на-Дону

2024

**Аннотация**

Методические указания по выполнению контрольной работы № 02 по дисциплине «Основы промышленных сетей». Выполнение работы предполагает изучение основных разделов курса в форме реферативных ответов на вопросы задания. Методические указания предназначены для студентов очной и заочной форм обучения по направлению 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», профиль «Интеллектуальные системы сбора и анализа больших данных».

|  |  |
| --- | --- |
| Составитель: | к.т.н., доц., Болдырев А. В. |

**Содержание**

Задание №1

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА

ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ………………………………………………………………..4

Задание №2

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ

САМОСИНХРОНИЗИРУЮЩИМИСЯ КОДАМИ……………………………………………9

Задание №3

ЛОГИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ...…………………………….13

Задание №4

МЕТОДЫ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ………………………….…………………………………………..17

Задание №5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ КАНАЛОВ

ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ…………………………………………………………………………..21

Задание №6

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЛИБРАТОРА ТОКОВОЙ ПЕТЛИ

ДЛЯ НАЛАДКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ……………………………………………...25

Задание №7

ПОТЕРИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ (ВОЛС)……………………..29

Рекомендуемый библиографический список……………………………………………………38

1 Общие сведения

1.1 Цели и задачи

Целью выполнения данной контрольной работы является углубленное изучение основных вопросов дисциплины «Основы промышленных сетей». Для выполнения работы предполагается знание студентами базовых понятий курса, а также владение пакетом программ MS Office любой версии.

Выполнение контрольной работы является условием допуска к экзамену по данной дисциплине.

1.2 Выбор варианта задания

Для выполнения контрольной работы необходимо письменно выполнить одно из заданий данных методических указаний. Номер варианта определя­ется двумя последними цифрами шифра зачетной книжки, по которым, воспользовавшись следующей таблицей, следует определить по вертикали номера заданий.

Определение вариантов контрольных работ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Шифр | 01  21  41  61  81 | 02  22  42  62  82 | 03  23  43  63  83 | 04  24  44  64  84 | 05  25  45  65  85 | 06  26  46  66  86 | 07  27  47  67  87 | 08  28  48  68  88 | 09  29  49  69  89 | 10  30  50  70  90 | 11  31  51  71  91 | 12  32  52  72  92 | 13  33  53  73  93 | 14  34  54  74  94 | 15  35  55  75  95 | 16  36  56  76  96 | 17  37  57  77  97 | 18  38  58  78  98 | 19  39  59  79  99 | 20  40  60  80  00 |
| Задание | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 2 | 4 | 6 | 1 | 3 | 5 | 2 | 4 | 6 |

**Задание №1**

**ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА**

**ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТИ**

**Цель занятия:** Изучение принципов работы алгоритма поиска кратчайшего пути на взвешенном графе и приобретение навыков по формированию на его основе оптимального маршрута передачи данных от одного узла сети к другому.

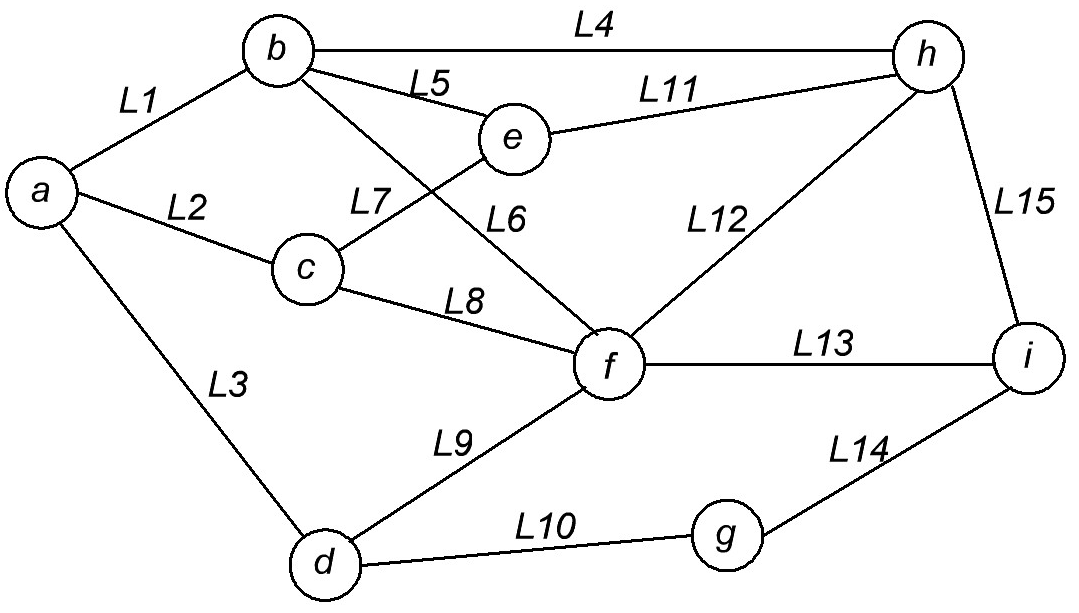
**1. Графовая модель задачи маршрутизации**

Крупные сетевые структуры, объединяющие несколько сетевых сегментов с различными протоколами и архитектурами, строятся по принципу наличия более чем одного маршрута между сегментами. Это позволяет «разгрузить» сеть за счет наличия

дополнительных каналов связи, а также повысить ее надежность в случае «обрыва» одного из них, что гарантирует то, что информация дойдет до адресата в любом случае. Такие сети объединяются с помощью маршрутизаторов, которые не только знают адрес каждого сегмента, но и определяют наилучший маршрут для передачи данных, а также фильтруют широковещательные сообщения.

Для выбора наилучшего маршрута используются алгоритмы маршрутизации. Самый распространенный из них, это OSPF (Open Shortest Path First) — алгоритм маршрутизации на основе состояния канала. Алгоритмы состояния канала управляют процессом маршрутизации и позволяют маршрутизаторам быстро реагировать на изменения в сети. Маршрутизация на основе состояния канала использует алгоритм Дейкстры для вычисления маршрутов с учетом количества транзитов, скорости линии, графика и стоимости. Протокол TCP/IP поддерживает OSPF. Задача выбора оптимального маршрута передачи данных в сети включает в себя последовательный выбор узлов сети, формирующих маршрут от источника передачи до адресата, который обеспечит наилучшие значения заданных показателей. Решение данной задачи возможно на основе теории графов. В частности, задачу выбора оптимального маршрута передачи данных в сети между двумя узлами можно представить как задачу поиска кратчайшего пути между начальной и конечной вершинами на графе возможного состава маршрутов. Граф возможного состава маршрутов (ГВСМ) можно рассматривать как графовую модель задачи. Пусть сеть маршрутизаторов задана неориентированным взвешенным графом *G*=<*X,U,C,P*>, определяющим наличие, пропускную способность и длину каналов связи между узлами сети, где *X* – множество вершин графа, соответствующих маршрутизаторам. *U*=<*X\*X*> – множество ребер графа. Ребро *Uij**U* имеет место в графе *G* между вершинами *i* и *j*, если между соответствующими узлами сети есть канал связи.

*С* – весовая функция, определяющая каждому ребру *Uij**U* пропускную способность *Cij**C* канала связи между узлами *i* и *j*. *P* – весовая функция, определяющая каждому ребру *Uij**U* длину *Pij**P* канала связи между узлами *i* и *j*. Пример графовой модели для некоторого варианта сети изображен на рисунке.



Для построенного графа формируются характеристики дуг в виде матриц смежности в соответствии с условиями задачи. В качестве характеристик выступают: матрица *Р* – расстояний между узлами и матрица *С* – пропускной способности каналов.

Матрица *Р*, м

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | a | b | c | d | e | f | g | h | i |
| a | - | 150 | 500 | 300 | - | - | - | - | - |
| b | 150 | - | - | - | 450 | 1000 | - | 100 | - |
| c | 500 | - | - | - | 180 | 445 | - | - | - |
| d | 300 | - | - | - | - | 1500 | 250 | - | - |
| e | - | 450 | 180 | - | - | - | - | 890 | - |
| f | - | 1000 | 445 | 1500 | - | - | 150 | 600 | 210 |
| g | - | - | - | 250 | - | 150 | - | - | 500 |
| h | - | 100 | - | - | 890 | 600 | - | - | 300 |
| i | - | - | - | - | - | 210 | 500 | 300 | - |

Матрица *С*, Мб/с

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | a | b | c | d | e | f | g | h | i |
| a | - | 100 | 50 | 10 | - | - | - | - | - |
| b | 100 | - | - | - | 100 | 100 | - | 10 | - |
| c | 50 | - | - | - | 10 | 50 | - | - | - |
| d | 10 | - | - | - | - | 100 | 50 | - | - |
| e | - | 100 | 10 | - | - | - | - | 10 | - |
| f | - | 100 | 50 | 100 | - | - | 10 | 100 | 10 |
| g | - | - | - | 50 | - | 10 | - | - | 50 |
| h | - | 10 | - | - | 10 | 100 | - | - | 100 |
| i | - | - | - | - | - | 10 | 50 | 100 | - |

Построение графовой модели завершается расчетом весов дуг, соответствующих возможным вариантам следования маршрута. В качестве весов дуг берется характеристика, определяющая величину критерия оптимальности решаемой задачи.

Критериями оптимальности при определении оптимального маршрута передачи данных обычно являются такие показатели, как время передачи и стоимость аренды канала.

Время передачи данных по каналу связи *tij* рассчитывается как:  (1)

Суммарное время передачи данных *Т* определяется как сумма времен для отдельных каналов, составляющих маршрут:  (2)

Суммарная стоимость аренды канала $ определяется из выражения:  , (3)

где $0 – удельная стоимость 1 канала/км с базовой пропускной способностью *С0*.

Вычисление весов дуг (формулы 1–3 в зависимости от целевой функции) целесообразно совмещать с построением матрицы смежности *T* для графа возможных вариантов маршрутов, например, для ГВСМ, приведенного выше:

Матрица *Т*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | a | b | c | d | e | f | g | h | i |
| a | ∞ | 1,5 | 10 | 30 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ |
| b | 1,5 | ∞ | ∞ | ∞ | 4,5 | 10 | ∞ | 10 | ∞ |
| c | 10 | ∞ | ∞ | ∞ | 18 | 9 | ∞ | ∞ | ∞ |
| d | 30 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 15 | 5 | ∞ | ∞ |
| e | ∞ | 4,5 | 18 | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 89 | ∞ |
| f | ∞ | 10 | 9 | 15 | ∞ | ∞ | 15 | 6 | 21 |
| g | ∞ | ∞ | ∞ | 5 | ∞ | 15 | ∞ | ∞ | 10 |
| h | ∞ | 10 | ∞ | ∞ | 89 | 6 | ∞ | ∞ | 3 |
| i | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 21 | 10 | 3 | ∞ |

Задачи выбора маршрута с минимальными временем передачи данных и стоимостью аренды канала однотипны, их можно рассматривать как задачи поиска кратчайшего пути на ГВСМ, где в качестве меры пути принимается суммарный вес пройденных дуг. Подобные задачи имеют алгоритм решения, известный как алгоритм Дейкстры. Алгоритм поиска кратчайшего пути на взвешенном графе построен в виде пошагового пересчета расстояний от начальной *S*-й вершины до всех вершин графа. Отдельный шаг алгоритма включает вычисление новых длин путей от начальной до каждой *Vj*-й вершины и сравнение их с длинами путей между этими же вершинами, принятыми на предшествующих шагах. Для дальнейшего рассмотрения в качестве длины пути принимается меньшая из двух сравниваемых величин. Новая длина пути от начальной до рассматриваемой вершины *Vj* вычисляется как сумма расстояния от вершины *S* до вершины, оказавшейся к ней ближайшей на предыдущем шаге (эта вершина будет обозначаться *U*) и расстояния между вершинами *U* и *Vj*, равного весу соответствующей дуги на ГВСМ. Выбор на каждом шаге для каждой вершины кратчайшего из двух сравниваемых вариантов путей позволяет в конце работы алгоритма найти самые кратчайшие расстояния от начальной – *S* до всех остальных вершин, в том числе от *S* до *Т*.

Формула пересчета расстояния от *S*-й до *Vj*-й вершины на *i*-м шаге будет выглядеть следующим образом:

*L(i,Vj)*=*min(L(i-1,Vj),L(i-1,U)+T(U,Vj))*, (4)

где *i*-номер шага; *Vj*-номер вершины; *L(i,Vj)* – расстояние от начальной до вершины *Vj*, вычисленное на *i*-м шаге; *L(i–1,Vj)* – расстояние от начальной до вершины *Vj*, вычисленное на предшествующем (*i–1)*-м шаге; *L(i–1,U)* – расстояние от начальной вершины до вершины, ближайшей к ней, выявленное на предыдущем, (*i–1)*-м, шаге; *T(U,Vj)* – вес дуги *UVj* по матрице смежности *Т*. Работу алгоритма Дейкстры обычно оформляют в виде матрицы SL, в которой строки соответствуют вершинам ГВСМ, а столбцы – шагам алгоритма. В качестве значений элементов матрицы записываются принятые на соответствующем шаге минимальные длины путей до вершин графа. В нулевой столбец в качестве начальных значений расстояний от вершины *S* до других вершин графа заносятся символы ∞, а в элемент, соответствующий вершине – истоку, заносится 0. На каждом последующем шаге заполняется новый столбец.

Выявление вершины *U*, то есть вершины, ближайшей к началу на данном шаге, необходимо осуществлять на основе значений, полученных в соответствующем столбце. Значение, соответствующее вершине, ближайшей к началу на данном шаге, необходимо выделить. Необходимо также вычеркнуть из дальнейшего рассмотрения элементы строки, соответствующей данной вершине. Пример заполнения матрицы SL для данных из матрицы смежности *Т*, рассмотренной ранее, представлен на рисунке.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| *S*=a | 0 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| b | ∞ | 1,5 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| c | ∞ | 10 | 10 | 10 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| d | ∞ | 30 | 30 | 30 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | --- | --- | --- |
| e | ∞ | ∞ | 6 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f | ∞ | ∞ | 11,5 | 11,5 | 11,5 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| g | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | 26,5 | --- | --- | --- |
| h | ∞ | ∞ | 11,5 | 11,5 | 11,5 | 11,5 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| i | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | 32,5 | 14,5 | 14,5 | --- | --- | --- | --- | --- |
| *U*→ | a | b | e | c | f | h | i | d | g | --- | --- | --- |

Оптимальный маршрут, полученный по алгоритму, выявляется на основе обратного хода по матрице кратчайших расстояний. Необходимо последовательно выявить: относительно какой вершины получено последнее значение расстояния до конечной вершины, относительно какой – до вершины, предшествующей конечной, и так до вершины *S*. Для поиска вершины, относительно которой получено рассматриваемое значение, необходимо проследить по строке, на каком шаге данное значение появилось. Вершина, ближайшая к началу на предшествующем шаге, и будет искомой. На приведенном примере обратный путь даст маршрут i-h-b-a.

**2. Порядок выполнения задания**

1. Ознакомиться с изложенным выше теоретическим материалом по решению задачи оптимальной маршрутизации сети на основе теории графов.

2. Выбрать из таблицы исходные данные по номеру варианта задания, соответствующему номеру студента в журнале преподавателя.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Пропускная  способность 10 Мб/с | Пропускная  способность 100 Мб/с | Дополнительные условия |
| 1 | L1, L2, L3, L4, L9, L10, L11, L12 | L5, L6, L7, L8, L13, L14, L15 | - |
| 2 | L1, L2, L3, L4, L9, L10, L11, L12 | L5, L6, L7, L8, L13, L14, L15 | Удалить узел <b> и все смежные дуги |
| 3 | L1, L3, L5, L7,  L9, L11, L13, L15 | L2, L4, L6, L8, L10, L12, L14 | - |
| 4 | L1, L3, L5, L7, L9, L11, L13, L15 | L2, L4, L6, L8, L10, L12, L14 | Удалить узел <с> и все смежные дуги |
| 5 | L5, L6, L7, L8, L13, L14, L15 | L1, L2, L3, L4, L9, L10, L11, L12 | - |
| 6 | L5, L6, L7, L8, L13, L14, L15 | L1, L2, L3, L4, L9, L10, L11, L12 | Удалить узел <d> и все смежные дуги |
| 7 | L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 | L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15 | - |
| 8 | L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 | L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15 | Удалить узел <e> и все смежные дуги |
| 9 | L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15 | L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 | - |
| 10 | L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15 | L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8 | Удалить узел <f> и все смежные дуги |
| 11 | L1, L2, L3, L4, L13, L14, L15 | L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12 | - |
| 12 | L1, L2, L3, L4, L13, L14, L15 | L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12 | Удалить узел <g> и все смежные дуги |

3. Построить ГВСМ для выбранного варианта задания на основе исходного графа, приведенного выше.

4. Для всех вариантов принять следующие расстояния между узлами сети: L1 = 100 м., L2 = 2000 м, L3 = 185 м, L4 = 500 м, L5 = 800 м, L6 = 650 м, L7 = 1200 м,

L8 = 80 м, L9 = 300 м, L10 = 180 м, L11 = 1650 м, L12 = 450 м, L13 = 800 м, L14= 1300 м, L15 = 100 м.

5. В качестве весовой функции взять время передачи.

6. Сформировать матрицу расстояний между узлами и матрицу пропускной способности каналов.

7. Рассчитать по формулам вес дуг и построить матрицу смежности для ГВСМ.

8. Определить кратчайший маршрут между узлами <a> и <i> пошаговыми вычислениями по алгоритму Дейкстры в прямом и обратном направлениях. Построить матрицу SL.

9. Оформить протокол и ознакомиться с контрольными вопросами.

**3. Содержание отчета**

1. Название и цель занятия.

2. Граф возможного состава маршрутов в соответствии с вариантом задания.

3. Матрица расстояний между узлами и матрица пропускной способности каналов.

4. Расчеты весов дуг и матрица смежности для ГВСМ.

5. Расчеты кратчайшего маршрута по алгоритму Дейкстры и матрица SL.

6. Основные выводы по выполненному заданию.

**4. Контрольные вопросы**

1 . Какие алгоритмы маршрутизации используются маршрутизаторами?

2 . Какие задачи решаются с помощью алгоритма Дейкстры?

3 . Как можно представить сеть в виде графа?

4 . Что собой представляет матрица пропускной способности канала?

5 . Что собой представляет матрица расстояний между узлами?

6 . Какие критерии используют при оптимизации маршрута передачи данных?

7 . Что отображает матрица смежности?

8 . Перечислите этапы поиска кратчайшего пути на взвешенном графе.

9 . Что собой представляет матрица пошагового вычисления кратчайших расстояний?

10. Для чего предназначен обратный ход алгоритма?

**Задание №2**

**ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ**

**САМОСИНХРОНИЗИРУЮЩИМИСЯ КОДАМИ**

**Цель занятия:** Изучение вопросов кодирования информации в промышленных сетях с применением различных самосинхронизирующихся кодов и моделирование канала передачи данных на их основе.

**1. Кодирование информации в промышленных сетях**

*Синхронизация элементов сетей* – это часть протокола связи. В процессе синхронизации связи обеспечивается синхронная работа аппаратуры приемника и передатчика, при которой приемник осуществляет выборку поступающих информационных битов строго в моменты их прихода. В зависимости от способов решения проблемы синхронизации различают синхронную передачу, асинхронную передачу и передачу с автоподстройкой.

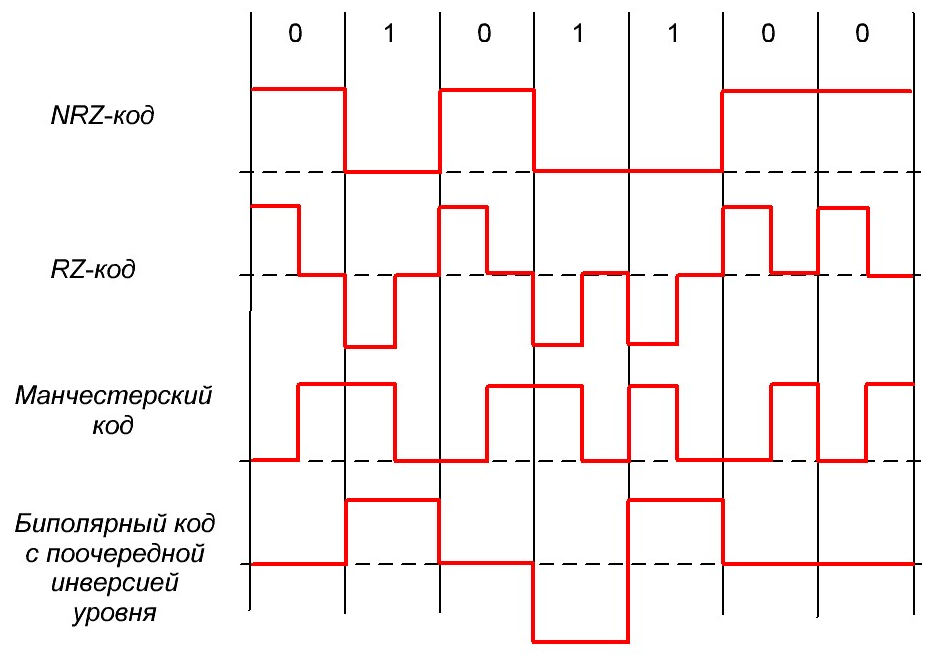
*Синхронная передача* требует дополнительной линии связи для передачи синхронизирующих импульсов (СИ) стабильной частоты. Каждый СИ подстраивает приемник. Выдача битов данных в линию связи передатчиком и выборка информационных сигналов приемником производятся в моменты появления СИ.

*Асинхронная передача* не требует дополнительной линии связи. Передача данных осуществляется небольшими блоками (байтами). Синхронизация приемника достигается тем, что перед каждым передаваемым байтом посылается старт-бит, а после него – стоп-бит.

*Передача с автоподстройкой*, также не требует дополнительной линии связи. Синхронизация достигается за счет использования самосинхронизирующихся кодов (СК). Кодирование передаваемых данных с помощью СК заключается в том, чтобы обеспечить

регулярные и частые изменения уровней сигнала в канале. Каждый переход уровня сигнала от высокого к низкому или наоборот используется для подстройки приемника.

Наиболее распространены СК: NRZ-код, RZ-код, манчестерский код и биполярный код с поочередной инверсией уровня. На рисунке представлены графики кодирования сообщения 0101100 с помощью перечисленных СК.



Для характеристики и сравнительной оценки СК используются следующие показатели:

* качество синхронизации;
* надежность распознавания и выделения принимаемых битов;
* скорость изменения уровня сигнала в линии связи при

использовании СК;

* сложность и стоимость оборудования, реализующего СК.

**NRZ-код** (Non Return to Zero – без возврата к нулю) отличается простотой кодирования и низкой стоимостью при его реализации. Однако при передаче серий одноименных битов (111…11 или 000…00) уровень сигнала остается неизменным для каждой серии, что существенно снижает качество синхронизации и надежность распознавания принимаемых битов. Для этого кода имеют место соотношения:

*V1 ≤ 2V2; V1max = 2V2,*

где: *V1* – скорость передачи информации в линии связи;

*V2* – пропускная способность линии связи.

Последнее иллюстрирует пример наиболее частого изменения сигнала в сети при непрерывном чередовании единиц и нулей, т. е. передачи последовательности 1010101010… и т.д. При скорости передачи 10 Мбит/с (длительности одного бита 100 нс) частота изменения сигнала и соответственно требуемая пропускная способность линии составит 1 / 200 нс = 5 МГц.

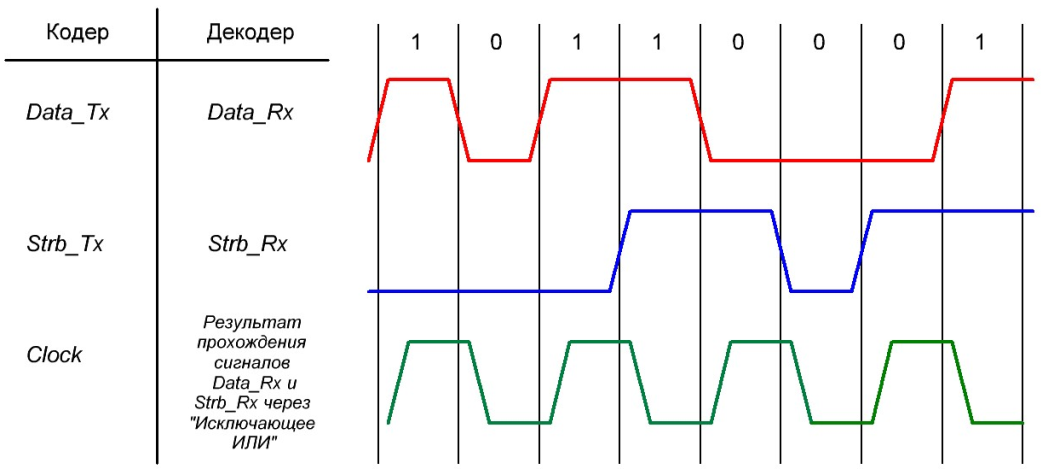
Наиболее известные применения кода NRZ – это стандарты RS-232C и рассматриваемый далее IEEE1394.

**RZ-код** (Return to Zero – с возвратом к нулю) отличается тем, что за время передачи одного информационного бита уровень сигнала меняется дважды независимо от того, передаются ли серии одноименных битов или поочередно изменяющихся битов. Этот код обладает хорошими свойствами синхронизации, но стоимость его реализации довольно высокая, так как необходимо обеспечить соотношение *V1 = V2*, т. е. вдвое большую полосу пропускания канала при той же скорости передачи по сравнению с NRZ. При использовании в оптоволоконных сетях RZ-код позволяет получить три уровня: отсутствие света, «средний» свет и «сильный» свет, что позволяет легко определить целостность оптоволоконной линии без дополнительных мер.

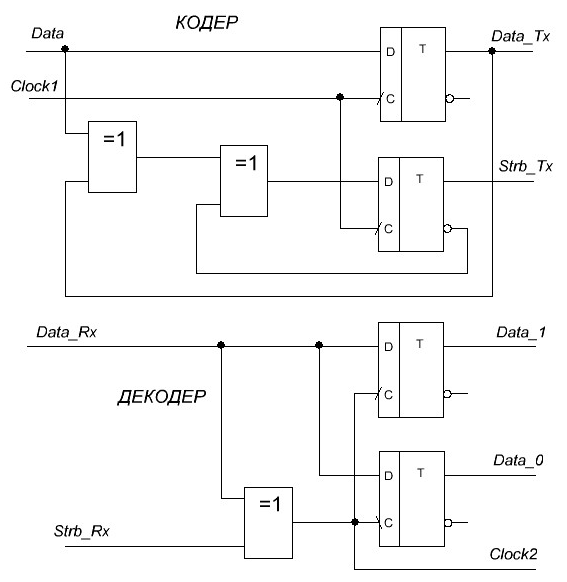
**Манчестерский код** (или код Манчестер-II) обеспечивает изменение уровня сигнала при представлении каждого бита (*V1 = 2V2*), а при передаче серий одноименных битов – двойное изменение (*V1 = V2*). Таким образом, частотный спектр сигнала включает в себя только две частоты, что позволяет легко избавиться от всех других частот (помехи, наводки, шумы) с помощью простейших полосовых фильтров.

Манчестерский код обладает хорошими синхронизирующими свойствами и получил наибольшее распространение в локальных сетях Ethernet.

**Биполярный код** с поочередной инверсией уровня обладает хорошими синхронизирующими свойствами при передаче серий единиц «111…». При передаче серий нулей «000…» синхронизация отсутствует. Код сравнительно прост в реализации. Для этого кода *V1 ≤ V2; V1max = V2.*

Все разрабатываемые в последнее время коды призваны найти компромисс между требуемой при заданной скорости передачи полосой пропускания линии связи (например, кабеля) и возможностью самосинхронизации. 

В качестве примера рассмотрим метод формирования СК в цифровом интерфейсе IEEE1394, известном также как i-link или FireWire. Применение данного метода позволяет отказаться на приемной стороне от дорогостоящих схем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Метод реализуется с помощью специальных кодера на передающей и декодера

на приемной стороне. Помимо формирования собственно сигнала данных ***Data*** методом NRZ-кодирования, драйвером интерфейса вырабатывается (передаваемый одновременно с сигналом ***Data***) дополнительный сигнал строба ***Strb*** таким образом, чтобы на приемном узле IEEE1394 с помощью декодера оказалось возможным из входных сигналов выделить тактовую частоту ***Clock***. Как видно из рисунка, сигнал строба изменяет свой логический уровень при ситуации, когда в сигнале ***Data*** присутствуют более одной логической 1 или более одного логического 0 подряд.

Схемы кодера и декодера могут быть построены на основе синхронных триггеров D-типа и элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ. При подаче на входы кодера исходного сигнала данных ***Data*** и тактовой частоты драйвера ***Clock1*** на его выходе формируются сигналы данных ***Data\_Tx*** и строба ***Strb\_Tx***. По двум проводам эти сигналы поступают в линию связи интерфейса. На приемной стороне декодер воспринимает поступающие на его входы сигналы ***Data\_Rx*** и ***Strb\_Rx*** и формирует из них сигнал тактовой частоты ***Clock2***, а также сигналы данных ***Data\_1*** и ***Data\_0***.

**2. Порядок выполнения задания**

1. Ознакомиться с вопросами кодирования информации в промышленных сетях с применением различных СК: NRZ-кода, RZ-кода, манчестерского кода, биполярного кода с поочередной инверсией уровня.

2. Изучить метод формирования СК в интерфейсе IEEE1394.

3. Разработать в программе MicroCap 9g схему, позволяющую моделировать передачу данных в интерфейсе IEEE1394 с помощью СК, для чего воспользоваться приведенными выше схемами кодера и декодера. Для построения генератора исходной периодической кодовой последовательности ***Data*** использовать материалы лабораторной работы [7]. При выборе счетчика K555IE5 первый его разряд использовать в качестве формирователя меандра (и делителя на 2) тактовой частоты ***Clock1***. В качестве генератора синхросигнала использовать прямой выход элемента GenStrob, в качестве мультиплексора – К155КР5.

4. Провести анализ переходных процессов в диапазоне 3 мкс для всех сигналов, рассмотренных выше, кроме ***Data\_0***.

5. Оформить протокол и ознакомиться с контрольными вопросами.

**3. Содержание отчета**

1. Название и цель занятия.

2. Скриншоты разработанной схемы передачи данных и графиков переходных процессов.

3. Основные выводы по выполненному заданию.

**4. Контрольные вопросы**

1 . В чем заключается процесс синхронизации связи в промышленных сетях?

2 . Как обеспечивается синхронная работа аппаратуры приемника и

передатчика во времени?

3 . Как осуществляется передача данных в асинхронном режиме?

4 . Какие показатели используются для характеристики СК?

5 . Как достигается синхронизация приемника при передаче с

автоподстройкой?

6 . Охарактеризуйте наиболее распространенные СК.

7 . Как взаимосвязаны скорость передачи информации и пропускная способность линии связи при NRZ-кодировании?

8. За счет чего достигается высокая помехоустойчивость манчестерского кода?

9. В чем заключаются отличительные особенности формирования СК интерфейса IEEE1394?

10. Какие функции выполняют кодер и декодер интерфейса IEEE1394?

**Задание №3**

**ЛОГИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ**

**Цель занятия:** Изучение методов кодирования дискретных данных на физическом уровне и приобретение навыков по определению результирующих последовательностей исходных битов методами избыточных кодов 4В/5В и скрэмблирования.

**1. Методы кодирования дискретных данных на физическом уровне**

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется *физическим*, или *линейным*, *кодированием*.

В промышленных сетях передача дискретных данных реализуется с помощью электрических, оптических или радиосигналов. Однако для того, чтобы передать таким образом информацию, ее предварительно необходимо преобразовать в тот или иной вид сигналов.

Существует множество систем кодирования данных [2]. Выбор той или иной системы обусловливается несколькими целями:

* минимизация ширины спектра сигнала, полученного в результате кодирования;
* обеспечение синхронизации между передатчиком и приемником;
* обеспечение устойчивости к шумам;
* обнаружение и по возможности исправление битовых ошибок;
* минимизация мощности передатчика.

Более узкий *спектр сигнала* позволяет на одной и той же линии (с одной и той же полосой пропускания) добиваться более высокой скорости передачи данных. Спектр сигнала в общем случае зависит как от способа кодирования, так и от тактовой частоты передатчика.

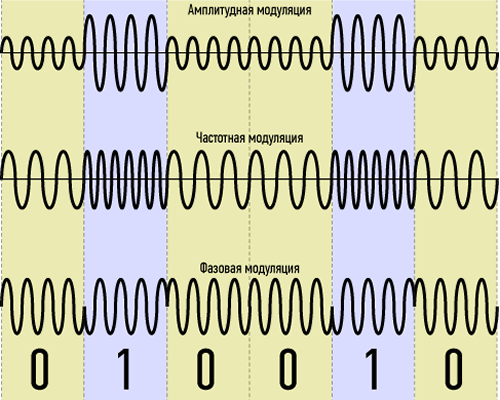
В большинстве способов кодирования используется изменение какого-либо параметра периодического сигнала – частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знака потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого подвергаются изменениям, называют *несущим сигналом*, а его частоту, если сигнал синусоидальный, - *несущей частотой*. Процесс изменения параметров несущего сигнала в соответствии с передаваемой информацией называется *модуляцией*.

В беспроводных сетях, на каналах с узкой полосой пропускания обычно применяется метод кодирования, основанный на модуляции несущего высокочастотного аналогового сигнала. При модуляции дискретная информация представляется синусоидальным сигналом той частоты, которую хорошо передает имеющаяся линия связи. Примером аналоговой модуляции для передачи дискретных данных по каналам связи с узкой полосой частот является канал тональной частоты общественных телефонных сетей. Этот канал передает частоты в диапазоне от 300 до 3400Гц, из чего следует, что полоса пропускания составляет 3100Гц. Строгое ограничение полосы пропускания тонального канала связано с использованием аппаратуры уплотнения и коммутации каналов в телефонных сетях. *Мо*дуляцию и *дем*одуляцию в таких каналах осуществляют *модемы*.

В зависимости от модулируемых характеристик сигнала различают следующие основные виды модуляции:

* амплитудная (АМ, AM – Amplitude Modulation);
* фазовая (ФМ, PM – Phase Modulation);
* частотная (ЧМ, FM – Frequency Modulation).

При амплитудной модуляции единицы и нули данных кодируются за счет разницы уровня амплитуды несущей частоты. Частота сигнала при этом остается постоянной. Недостаток амплитудной модуляции состоит в том, что АМ-сигнал сильно подвержен действию помех и шумов, а также предъявляет повышенные требования к затуханию сигнала в канале связи.



При фазовой модуляции данные кодируются посредством сигналов, имеющих различную фазу одной частоты. Амплитуда сигнала при фазовой модуляции остается постоянной, что является большим преимуществом по сравнению с амплитудной модуляцией.

Частотная модуляция представляет исходные единицы и нули в виде синусоид, различающихся по частоте. Как и в случае с фазовой модуляцией амплитуда сигнала остается постоянной.

На практике очень часто для повышения качества и скорости передачи применяются более сложные методы модуляции, являющиеся комбинацией перечисленных простейших методов.

Другим видом кодирования дискретных данных является цифровое кодирование. В этом случае применяются различные потенциальные и импульсные коды: NRZ, RZ, AMI, манчестерский код и т. д. [3].

**2. Логическое кодирование информации в сетях**

Все разрабатываемые в последнее время коды призваны найти компромисс между требуемой при заданной скорости передачи полосой пропускания физической среды и возможностью самосинхронизации. Разработчики стремятся сохранить самосинхронизацию, но не ценой двукратного увеличения полосы пропускания, как в рассмотренных RZ, манчестерском и бифазном кодах.

Для улучшения потенциальных кодов используется *логическое кодирование* данных, решающее, в частности, и проблему с длинными последовательностями нулей, приводящими к постоянному потенциалу. Улучшенные потенциальные коды обладают более узким спектром, чем импульсные, поэтому находят применение в высокоскоростных технологиях FDDI (Fiber Distributed Data Interface — волоконно-оптический интерфейс передачи данных), FastEthernet, GigabitEthernet.

*Метод избыточных кодов* основан на разбиении исходной последовательности битов на порции, которые часто называют *символами*. Затем каждый исходный символ заменяется новым, который имеет большее количество битов, чем исходный. Например, логический код 4В/5В, используемый в технологиях FDDI и FastEthernet, заменяет исходные символы длиной в 4 бита на символы длиной в 5 бит.

Для обеспечения заданной пропускной способности линии передатчик,

использующий избыточный код, должен работать с повышенной тактовой частотой. Для передачи кодов 4В/5В со скоростью 100 Мбит/с передатчик должен работать с тактовой частотой 125 МГц. При этом спектр сигнала на линии расширяется, но, несмотря на это, он оказывается уже спектра манчестерского кода, что оправдывает этап логического кодирования. Символы кода 4В/5В длиной 5 бит гарантируют, что при любом их сочетании на линии не могут встретиться более трех нулей подряд.

Использование таблицы перекодировки, приведенной ниже, является очень простой операцией, поэтому этот подход не усложняет сетевые адаптеры и интерфейсные блоки коммутаторов и маршрутизаторов.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Исходный код | Результирующий код | Исходный код | Результирующий код |
| 0000  0001  0010  0011  0100  0101  0110  0111 | 11110  01001  10100  10101  01010  01011  01110  01111 | 1000  1001  1010  1011  1100  1101  1110  1111 | 10010  10011  10110  10111  11010  11011  11100  11101 |

Подобным образом строятся и другие коды, в частности, 8В/10В, применяемый в сети GigabitEthernet.

*Методы скрэмблирования* (перемешивания данных) заключаются в побитном вычислении результирующего кода на основании битов исходного кода и полученных в предыдущих тактах битов результирующего кода.

Скрэмблер передатчика может реализовывать следующее соотношение:

*Bi* = *Ai* ⊕ *Bi– 3* ⊕ *Bi– 5*,

где *Bi* – двоичная цифра результирующего кода, полученная на i-м такте работы скрэмблера, Ai – двоичная цифра исходного кода, поступающая на i-м такте на вход скремблера; *Bi– 3* и *Bi– 5* - двоичные цифры результирующего кода, полученные на предыдущих тактах работы скрэмблера.

Например, для исходной последовательности 1101000000010010 скрэмблер даст

результирующий код 1100111110011101, который содержит не более двух нулей подряд.

Дескрэмблер приемника восстанавливает исходную последовательность на основании обратного соотношения:

*Сi* = *Вi* ⊕ *Вi– 3* ⊕ *Вi – 5* = (*Ai* ⊕ *Bi– 3* ⊕ *Bi– 5*) ⊕ *Вi– 3* ⊕ *Вi – 5* = *Аi*.

Различные алгоритмы скрэмблирования отличаются количеством слагаемых, дающих цифру результирующего кода, и сдвигом между слагаемыми.

**3. Порядок выполнения задания**

1. Ознакомиться с изложенным выше теоретическим материалом по методам кодирования дискретных данных.

2. Выбрать из таблицы исходный код по номеру задания, соответствующему номеру студента в журнале преподавателя.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № задания | Исходный код | № задания | Исходный код |
| 1  2  3  4  5  6 | 10001000000001001100  11111001000000000101  10011001010000000000  11000000000010101000  10000011011111100000  10100101000011111000 | 7  8  9  10  11  12 | 11101110111110100000  10010000000001011111  11111111000000000011  10101010110000000010  11110100000000011011  11101111110000000101 |

3. Определить результирующую последовательность битов методом избыточных кодов 4В/5В, предварительно разбив исходный код на символы по 4 бита.

4. Определить результирующую последовательность битов методом скрэмблирования по представленному в теоретической части алгоритму.

5. Проверить правильность результата предыдущего пункта применением к нему алгоритма дескрэмблирования, представленного в теоретической части.

6. Провести сравнительный анализ полученных результатов применения методов логического кодирования.

8. Оформить протокол и ознакомиться с контрольными вопросами.

**4. Содержание отчета**

1. Название и цель занятия.

2. Расчеты результирующих последовательностей битов по заданному исходному коду методами логического кодирования.

3. Проверочный расчет исходного кода по результату его скрэмблирования.

4. Основные выводы по выполненному заданию.

**5. Контрольные вопросы**

1 . Что понимают под физическим кодированием дискретной информации?

2 . Какие цели ставятся при выборе системы кодирования данных?

3 . Что называют несущим сигналом и несущей частотой?

4 . Что называется модуляцией сигналов?

5 . Охарактеризуйте основные методы модуляции.

6 . Для чего необходимо логическое кодирование?

7 . Как выполняется кодирование методом избыточных кодов?

8 . В чем заключается метод скрэмблирования?

9 . Какой из методов логического кодирования наиболее эффективен?

10. Как влияют методы логического кодирования на спектр сигнала?

**Задание №4**

**МЕТОДЫ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ**

**ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ**

**Цель занятия:** Изучение методов помехоустойчивого (избыточного) кодирования дискретных данных и приобретение навыков по применению корректирующего кода Хэмминга.

**1. Методы помехоустойчивого кодирования дискретных данных**

Среди многочисленных методов защиты от ошибок выделяются три вида методов:

1) групповые методы (мажоритарный метод и метод передачи информационными блоками с количественной характеристикой блока);

2) помехоустойчивое кодирование;

3) методы защиты от ошибок в системах передачи с обратной связью (с решающей обратной связью и с информационной обратной связью).

*Помехоустойчивое (избыточное) кодирование* предполагает использование корректирующих (помехоустойчивых) кодов, которые применяются в вычислительных системах, сетях и телекоммуникациях для защиты от ошибок при передаче информации между устройствами.

Существует большое количество помехоустойчивых кодов, отличающихся по своим корректирующим возможностям. Наиболее важные *показатели корректирующих кодов*:

* значность кода (*m* – длина кодовой комбинации) включаетинформационные символы n и проверочные (контрольные) символы *К*. Обычно значность кода *m* есть сумма: *m* = *К*+ *n*;
* избыточность кода *К*изб, выражаемая отношением числа контрольных

символов в кодовой комбинации к значности кода: *К*изб = *К* / *m* = *К* /(*К*+ *n*), из этого следует: *К*изб < 1 (относительная величина);

* корректирующая способность кода *К*кс, представляющая собой отношение числа кодовых комбинаций *L*, в которых ошибки были обнаружены и исправлены, к общему числу переданных кодовых комбинаций *М* в фиксированном объеме информации: *К*кс = *L* / *М*.

Выбор корректирующего кода для его использования в данной сети зависит от требований по достоверности передачи информации. Для правильного выбора кода необходимы статистические данные о закономерностях появления ошибок, их характере, численности и распределении во времени. Часто используемое в этом случае понятие кодового расстояния *d* между двумя словами равно числу разрядов, в которых рассматриваемые слова различаются между собой. Из статистики следует, что наиболее эффективны для информационных систем коды, обнаруживающие и исправляющие однократные ошибки.

Для *обнаружения однократной ошибки* (в одном информационном разряде) достаточно выбрать разрешенное и запрещенное слова, которые отличаются друг от друга в двух разрядах (1-м информационном и 1-м контрольном), т.е. кодовое расстояние между этими кодовыми словами должно быть *d* = 2. Для *исправления однократной ошибки* достаточно выбрать разрешенное и запрещенное кодовые слова так, чтобы они находились друг от друга на кодовом расстоянии *d* ≥ 3 (1 информационный и ≥ 2-х контрольных), а разрешенным кодовым словам поставить в соответствие все запрещенные слова, находящиеся от них в информационной части на кодовом расстоянии *d* = 1 (ошибки в одном информационном разряде). В качестве примеров в данной работе рассматриваются метод кодирования и декодирования информации для обнаружения одиночной ошибки и метод кодирования и декодирования информации для обнаружения и исправления одиночной ошибки с помощью корректирующего кода Хэмминга.

Для обнаружения одиночной ошибки достаточно ввести в исходный код, например 10111101, один контрольный разряд *K*1 с весом 20=1, который займет позицию (разряд)

№ 1, сдвинув весь исходный код *ni*, *i* = 1÷8 (1 байт) на один разряд вправо, тогда *i* = 2÷9 (нумерация позиций кодовой комбинации – слева направо). Контрольный разряд *K*1 должен удовлетворять условию (*K*1+∑*ni*) mod2 = 0, *i* = 2÷9. В рассматриваемом примере в избыточном разрешенном коде *К*1 = 0. Эти преобразования показаны в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формирование кодов | | | | | | | | | | Кодирование  и  декодирование  ( ∑*ni*) mod2=**?** |
| Номера разрядов | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Исходный код | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | Не  занят |
| *К*1 и *ni* | *К*1 | *n*2 | *n*3 | *n*4 | *n*5 | *n*6 | *n*7 | *n*8 | *n*9 |
| Разрешенный  код *К*1=**0** | **0** | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | **1** | 0 | 1 | Кодирование  ( ∑*ni*) mod2=**0** |
| Запрещенный  код *К*1=**1** | **1** | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | **0** | 0 | 1 | Декодирование  ( ∑*ni*) mod2=**1** |

Если в информационной части кода ввести одиночную ошибку, например в 7-м разряде *n*7 заменой 1 на 0, то образуется запрещенный код, в котором контрольный разряд изменится на *К*1=1. Это свидетельствует об обнаружении одиночной ошибки при передаче разрешенного кода. Такой метод кроме одиночной ошибки позволяет обнаружить число ошибок кратное 3, т.е. 3, 6, 9 и т.д. Корректирующий код Хэмминга позволяет не только обнаруживать, но и исправлять одиночные ошибки. При этом количество контрольных символов в кодовой комбинации должно быть таким, чтобы в процессе декодирования сформированное

двоичное корректирующее число могло указать позицию кодовой комбинации с максимальным номером. Например, для 8-и информационных разрядов потребуется 4-е контрольных. Таким образом, в кодовой комбинации позиция с наибольшим номером будет 8+4=12=1100(2).

Для обнаружения и исправления одиночной ошибки необходимо ввести в исходный код, например 10111101, четыре контрольных разряда *K*1, *K*2, *K*4, *K*8, соответственно с весами 20=1, 21=2, 22=4, 23=8. Они займут позиции (разряды) с номерами 1, 2, 4, 8, сдвинув разряды исходного кода *ni*, *i* =1÷8 (1 байт) вправо в свободные позиции 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, не занятые контрольными разрядами (нумерация позиций кодовой комбинации – слева направо). Эти преобразования показаны в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формирование кодов | | | | | | | | | | | | | Кодирование и декодирование |
| Номера разрядов | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Исходный код | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | Не заняты | | | |
| Позиции  *Кi* и *ni* | *К*1 | *К*2 | *n*3 | *К*4 | *n*5 | *n*6 | *n*7 | *К*8 | *n*9 | *n*10 | *n*11 | *n*12 |
| Определение  *Кi* | **?** | **?** | 1 | **?** | 0 | 1 | 1 | **?** | 1 | 1 | 0 | 1 | Кодирование  ( ∑*ni*) mod2=**?** |
| Определение  *К*1=**1** → | → | | 1 | + | 0 | + | 1 | + | 1 | + | 0 | + | (*n*3+*n*5+*n*7+*n*9  +*n*11) mod2=**1** |
| Определение  *К*2=**0** → | → | | 1 | + | | 1 | 1 | + | | 1 | 0 | + | (*n*3+*n*6+*n*7+*n*10  +*n*11) mod2=**0** |
| Определение  *К*4=**1** → | → | | | | 0 | 1 | 1 | + | | | | 1 | (*n*5+*n*6+*n*7  +*n*12) mod2=**1** |
| Определение  *К*8=**1** → | → | | | | | | | | 1 | 1 | 0 | 1 | (*n*9+*n*10+*n*11  +*n*12) mod2=**1** |
| Разрешенный код | **1** | **0** | 1 | **1** | 0 | 1 | 1 | **1** | 1 | **1** | 0 | 1 | Отправленный код |
| Запрещенный код | **1** | **0** | 1 | **1** | 0 | 1 | 1 | **1** | 1 | **0** | 0 | 1 | Принятый код |
| Декодирование  (*K*+∑*ni*) mod2=**?** |
| Определение  КЧ=\_ \_ \_ **0** | 1 | + | 1 | + | 0 | + | 1 | + | 1 | + | 0 | + | (*К*1+*n*3+*n*5+*n*7+*n*9  +*n*11) mod2=**0** |
| Определение  КЧ=\_ \_ **1** 0 | → | 0 | 1 | + | | 1 | 1 | + | | 0 | 0 | + | (*К*2+*n*3+*n*6+*n*7+*n*10  +*n*11) mod2=**1** |
| Определение  КЧ=\_ **0** 1 0 | → | | | 1 | 0 | 1 | 1 | + | | | | 1 | (*К*4+*n*5+*n*6+*n*7  +n12) mod2=**0** |
| Определение  КЧ=**1** 0 1 0 | → | | | | | | | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | (*К*8+*n*9+*n*10+*n*11  +*n*12) mod2=**1** |

Значения контрольных символов при кодировании определяются путем контроля на четность количества единиц в информационных разрядах кодовой комбинации. Значение контрольного символа *Ki* =0, если количество единиц будет четным (∑*ni*) mod2 = 0, и *Ki* =1 при нечетном количестве единиц в соответствии с формулой (∑*ni*) mod2 = 1, отдельно для каждого *i* = 1, 2, 4, 8, где *ni* – значения информационных разрядов *i* = 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12.

При определении значения 1-го контрольного символа *К*1, размещаемого на 1-й позиции кодовой комбинации, проверяются на четность информационные позиции с нечетными номерами 3, 5, 7, 9, 11, двоичные изображения номеров которых содержат единицу в младшем разряде (0011, 0101, 0111, 1001, 1011). При определении значения 2-го контрольного символа *К*2, размещаемого на 2-й позиции кодовой комбинации, проверяются на четность информационные позиции 3, 6, 7, 10, 11, двоичные изображения

номеров которых содержат единицу во 2-м разряде (0011, 0110, 0111, 1010, 1011). Значение 3-го контрольного символа, размещаемого на 4-й позиции кодовой комбинации *К*4, определяется путем контроля на четность информационных позиций 5, 6, 7, 12, двоичные изображения номеров которых содержат единицу в 3-м разряде (0101, 0110, 0111, 1100). Аналогично устанавливается значение 4-го контрольного символа *К*8 (см. таблицу). Если ввести ошибку, например в 10-м информационном разряде *n*10 разрешенного кода заменой 1 на 0, то образуется запрещенный код, который и декодируется в приемном устройстве.

В процессе декодирования формируется корректирующее число (КЧ) – синдром ошибки, разрядность которого устанавливается по указанному выше правилу. Значения разрядов этого КЧ определяются по правилам, аналогичным тем, которые использовались для определения значений контрольных символов в процессе кодирования. Разница лишь в том, что при определении значений разрядов КЧ проверяются на четность не только информационные позиции, но и контрольные (*Ki*+∑*ni*) mod2 для каждого *i* = 1, 2, 4, 8, где *ni* – значения информационных разрядов *i* = 3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12. Например, для определения значения младшего разряда КЧ проверяются на четность позиции кодовой комбинации с нечетными номерами 1, 3, 5, 7, 9, 11. Аналогично определяются другие разряды КЧ (см. таблицу).

Значение корректирующего числа КЧ=1010(2)=10(10) определяет номер позиции кодовой комбинации, в которой произошла ошибка. Для ее исправления необходимо значение кода в этой позиции изменить на противоположное (0 на 1). Если КЧ=0000, то это указывает на отсутствие ошибок в принятой кодовой комбинации. Процесс декодирования завершается выделением из кодовой комбинации информационных символов.

**2. Порядок выполнения задания**

1. Ознакомиться с изложенным выше теоретическим материалом по методам помехоустойчивого кодирования дискретных данных.

2. Выбрать из таблицы исходный код (*m* - исходные информационные символы) по номеру задания, соответствующему номеру студента в журнале преподавателя.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № задания | Исходный код | № задания | Исходный код |
| 1  2  3  4  5  6 | 10001001  10011000  10011010  10101001  10101011  10111010 | 7  8  9  10  11  12 | 10111100  11001011  11001101  11011100  11011110  11101101 |

3. Определить в исходном коде для обнаружения однократной ошибки

контрольный символ *K*1, который занимает позицию, соответствующую значению 20=1, т.е. позицию с номером 1 (нумерация позиций кодовой комбинации – слева направо).

4. Определить в исходном коде для исправления однократной ошибки контрольные символы, которые занимают позиции, соответствующие значениям 20=1, 21=2, 22=4, 23=8, т.е. позиции с номерами 1, 2, 4, 8 (нумерация позиций кодовой комбинации – слева направо).

5. Изменить в исходном коде значение одного любого разряда на противоположное (0 на 1 или 1 на 0 – имитация ошибки).

6. Продемонстрировать обнаруживающую способность однократной ошибки кода Хэмминга в ошибочном (запрещенном) коде формированием корректирующего числа и его анализа.

7. Продемонстрировать корректирующую способность однократной ошибки кода Хэмминга в ошибочном (запрещенном) коде формированием корректирующего числа и его анализа. Для ее исправления необходимо значение кода в этой позиции изменить на противоположное (0 на 1 или 1 на 0).

8. Оформить протокол и ознакомиться с контрольными вопросами.

**4. Содержание отчета**

1. Название и цель занятия.

2. Таблица преобразования исходного кода для обнаружения одиночной ошибки.

3. Таблица преобразования исходного кода для обнаружения и исправления одиночной ошибки по Хэммингу.

4. Основные выводы по выполненному заданию.

**5. Контрольные вопросы**

1 . Перечислите основные виды методов защиты от ошибок.

2 . Дайте характеристику одному из групповых методов защиты от ошибок.

3 . Поясните смысл помехоустойчивого кодирования.

4 . Перечислите наиболее важные показатели корректирующих кодов.

5 . Что понимают под корректирующей способностью кода?

6 . От чего зависит выбор корректирующего кода для его использования в сети?

7 . Какое кодовое расстояние должно быть между кодовыми словами для обнаружения однократной ошибки?

8 . Какое кодовое расстояние должно быть между кодовыми словами для исправления однократной ошибки?

9 . Какие еще ошибки, кроме одиночной, позволяет обнаруживать метод Хэмминга?

10. Как определяются значения контрольных символов?

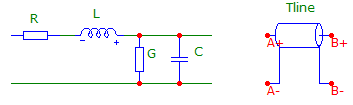
**Задание №5**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

**КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

**Цель занятия:** Изучение SPICE-моделей, основных параметров проводных линий связи каналов передачи данных и приобретение навыков моделирования линий связи в программе Micro-Cap.

**1. SPICE-модели и основные параметры проводных линий связи**

Линии связи (ЛС) в Micro-Cap представлены двумя моделями: идеальной двухпроводной ЛС без потерь и с потерями [8]. Математическая модель ЛС с потерями состоит из набора одинаковых звеньев. Схема такого звена (сегмента) и графическое обозначение ЛС показаны на рисунке, где R, L, G, C — погонные сопротивление (Ом/м), индуктивность (Гн/м), проводимость (См/м) и емкость (Ф/м).

Для реальных ЛС в зависимости от конструкции к сопротивлению R добавляются активные сопротивления потерь, вызванные поверхностным эффектом (плотность тока у поверхности проводника больше, чем в центре), эффектом близости (эффект взаимодействия вихревых токов проводников ЛС, возникающих под действием магнитного поля проводников из-за протекающих по ним токов) и вихревыми токами, наводимыми в окружающих ЛС проводящих поверхностях (например, в металлическом экране).

Аналогично для реальных ЛС к проводимости G добавляются проводимости, вызванные диэлектрическими потерями изоляционных материалов.

Значения параметров ЛС в Micro-Cap [8,9] задаются в диалоговом окне атрибутами PART <*имя˃*, MODEL [<*имя модели˃*] и VALUE. Последний атрибут определяет состав параметров модели, который зависит от типа ЛС. Для идеальной ЛС без потерь формат VALUE: Z0=<*значение*˃ [TD=<*значение*˃] [F=<*значение*˃ [NL=<*значение*˃]]. Здесь Z0 – волновое сопротивление линии (Ом); TD – задержка сигнала в ЛС (с); NL – электрическая длина ЛС на частоте F (NL=l/λ, где l – геометрическая длина ЛС, λ – длина волны в ЛС, по умолчанию NL=0,25).

Для ЛС с потерями формат VALUE: [<*электрическая длина*˃] LEN=<*значение*˃ R=<*значение*˃ L=<*значение*˃ G=<*значение*˃ C=<*значение*˃, где LEN – длина ЛС (м).

Выражение для волнового сопротивления выводится из условия равенства энергии электрического поля конденсатора и магнитного поля индуктивности для идеальной ЛС [3]. Это условие для амплитуд тока Im и напряжения Um известно как: (Im)2L/2=(Um)2C/2. Отсюда волновое сопротивление: Z0= Um/Im= . (1)

Время задержки сигнала при прохождении ЛС длиной l определяется формулой

TD=l/с , (2)

где с – скорость распространения электромагнитного поля вдоль линии, равная скорости света в вакууме (3·108 м/с). При наличии диэлектрика скорость распространения может уменьшиться на 10÷15% и более (определяется коэффициентом укорочения волны, приблизительно равном корню квадратному из диэлектрической проницаемости диэлектрика).

Скорость распространения связана с параметрами ЛС соотношением с=1/. На основании этого выражения параметры L и С необходимо выбирать из условия:

LC=1/c2≈11,11·10-18 . (3)

Только при соблюдении условия (3) существует однозначная связь между длиной линии в метрах, погонной емкостью в Ф/м, погонной индуктивностью в Гн/м и как следствие — возможность сопоставления результатов моделирования с результатами расчетов. С учетом последнего обстоятельства целесообразно также обеспечить условие независимости волнового сопротивления, определяемого формулой (1), от частоты (условие неискажающей ЛС), которое имеет следующий вид:

R/L=G/C. (4)

Линиям связи свойственны несколько режимов работы [3]. Режим бегущей волны (режим согласованной линии) характерен для ЛС, на выходе которой включено активное сопротивление, равное волновому сопротивлению Z0. Для такого режима мгновенное значение напряжения в любой точке ЛС описывается следующим выражением:

U=Ui exp(-βl) cos(ωt-αl), (5)

где l – расстояние от начала ЛС до точки, в которой определяется значение напряжения; ω=2πf – круговая частота входного сигнала Ui; β, α – постоянные затухания и сдвига фазы, определяемые из выражений:

β= ; (6)

α= , (7)

где A=; B=RG – ω2LC.

Из формулы (5) видно, что амплитуда бегущей волны напряжения убывает вдоль линии по экспоненциальному закону. Если выполняются условия R<<ωL и G<<ωC, то для определения постоянных затухания и сдвига фаз пользуются приближенными выражениями:

β=R/2Z0+GZ0/2; α=ω . (8)

Режим не согласованной линии характеризуется тем, что на ее выходе включено сопротивление Z, не равное волновому сопротивлению Z0. Наиболее ярко этот режим проявляется при разомкнутой или замкнутой (Z=0) линии. При разомкнутой линии бегущая волна тока достигает конца ЛС и заряды дальше двигаться не могут. Ток должен прекратиться. Но убывание тока создает по правилу Ленца ЭДС самоиндукции, направленную попутно с убывающим током. Появление же этой ЭДС приводит к повышению напряжения на конце линии, что в свою очередь вызывает движение зарядов в обратном направлении.

Следовательно, дойдя до разомкнутого конца линии, волны вынуждены двигаться в обратном направлении. Это явление называется отражением волны от конца линии. Энергия отраженных волн возвращается к началу линии. Электрические заряды прямой и обратной волн у конца провода складываются, в результате чего в этом месте в каждый момент времени получается удвоенное напряжение [10].

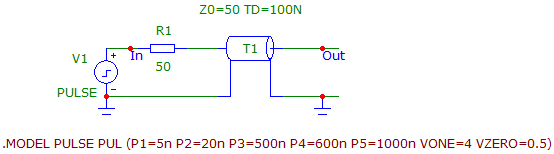
Для характеристики ЛС в рассматриваемом режиме используется коэффициент отражения:

ρ=(Z-Z0)/(Z+Z0) . (9)

При Z=Z0, коэффициент ρ=0 и в линии наступает режим бегущей волны. В случае разомкнутой линии ρ=1 и амплитуды напряжения и тока в конце ЛС определяются выражениями: Um=Uп(1+ρ)=2Uп; Im=Iп(1-ρ)=0. При этом падающие и отраженные волны напряжения имеют одинаковую фазу, а волны тока — противоположную.

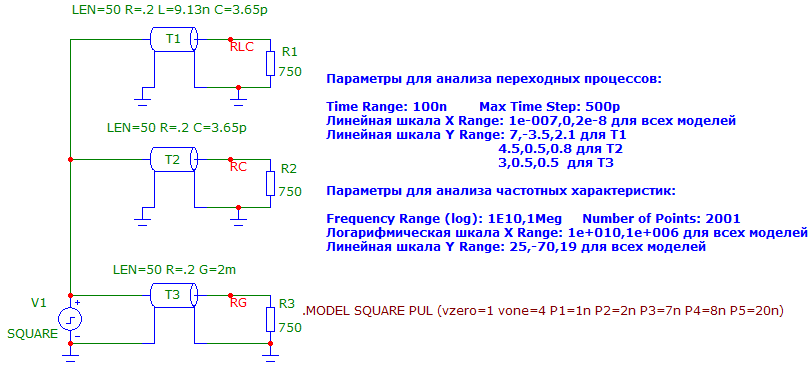
В случае замкнутой линии (Z=0) коэффициент ρ=-1 и амплитуды напряжения и тока в конце ЛС определяются выражениями: Um=Uп(1+ρ)=0; Im=Iп(1-ρ)=2Im. При этом падающие и отраженные волны тока имеют одинаковую фазу, а волны напряжения — противоположную.

**2. Порядок выполнения задания**

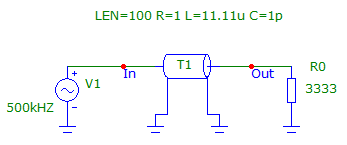
1. Ознакомиться с изложенным выше кратким описанием SPICE-моделей и основных параметров проводных линий связи каналов передачи данных.

2. Исследовать переходные процессы модели идеальной разомкнутой ЛС без потерь в диапазоне 2мкс для напряжений сигналов на входе и выходе схемы, на входе и выходе линии Т1, а также для токов на входе и выходе линии Т1.

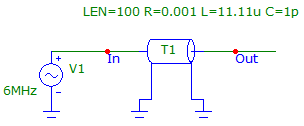
3. Исследовать переходные процессы для выходных напряжений сигналов и частотные характеристики в децибелах трех типов (RLC, RC и RG) моделей ЛС с потерями.



4. Исследовать АЧХ звена (сегмента) математической модели ЛС в диапазоне 100 МГц, используя значения погонных параметров R, L, G, C, а также модели источника сигнала и нагрузки из предыдущего задания.

5. Исследовать переходные процессы для входных и выходных напряжений сигналов модели ЛС в диапазоне 2 мкс при использовании источника синусоидального сигнала с амплитудой Uim=3В. Рассчитать по формуле (4) параметр G, по формулам (6), (7), (8) – постоянные затухания и сдвига фазы, а по формуле (5) – амплитуду выходного напряжения Uom. Сравнить рассчитанные значения параметров со значениями, полученными графическим путем, оформив результаты в виде таблицы:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Расчеты** | по графикам | по формуле (8) | по формулам (6), (7) | по формуле (5) |
| α (рад/100м) |  |  |  | --- |
| β (непер/м) |  |  |  | --- |
| Uom (B) |  | --- | --- |  |

 6. Исследовать переходные процессы для входных и выходных напряжений сигналов модели разомкнутой ЛС в диапазоне 1 мкс при использовании источника синусоидального сигнала с амплитудой Uim=3В. Рассчитать по формуле (2) время задержки и сравнить его со значением, полученным графическим путем.

7. Повторить предыдущее задание, установив частоту входного сигнала 2 МГц.

8. Оформить протокол и ознакомиться с контрольными вопросами.

**3. Содержание отчета**

1. Название и цель занятия.
2. Схемы всех исследованных моделей ЛС каналов передачи данных.
3. Графики рассчитанных в Micro-Cap характеристик для каждой из моделей ЛС.
4. Расчеты и таблица результатов расчетов по п.5.
5. Основные выводы по выполненному заданию.

**4. Контрольные вопросы**

1. Для каких целей используются проводные ЛС?
2. Как моделируются линии связи в Micro-Cap?
3. Какими основными параметрами характеризуются проводные ЛС?
4. Как задаются значения параметров SPICE-моделей ЛС в Micro-Cap?
5. Чем отличаются параметры реальных ЛС от их моделей?
6. Поясните полученные результаты моделирования ЛС.
7. Какие существуют режимы работы ЛС?
8. Определите несколько частот входных сигналов, при которых на длине 100м разомкнутой ЛС укладывается целое число волн.
9. Сколько длин волн укладывается на длине 100м разомкнутой ЛС, если частота входного сигнала 3МГц?
10. Какие типы SPICE-моделей ЛС применяются в Micro-Cap?

**Задание №6**

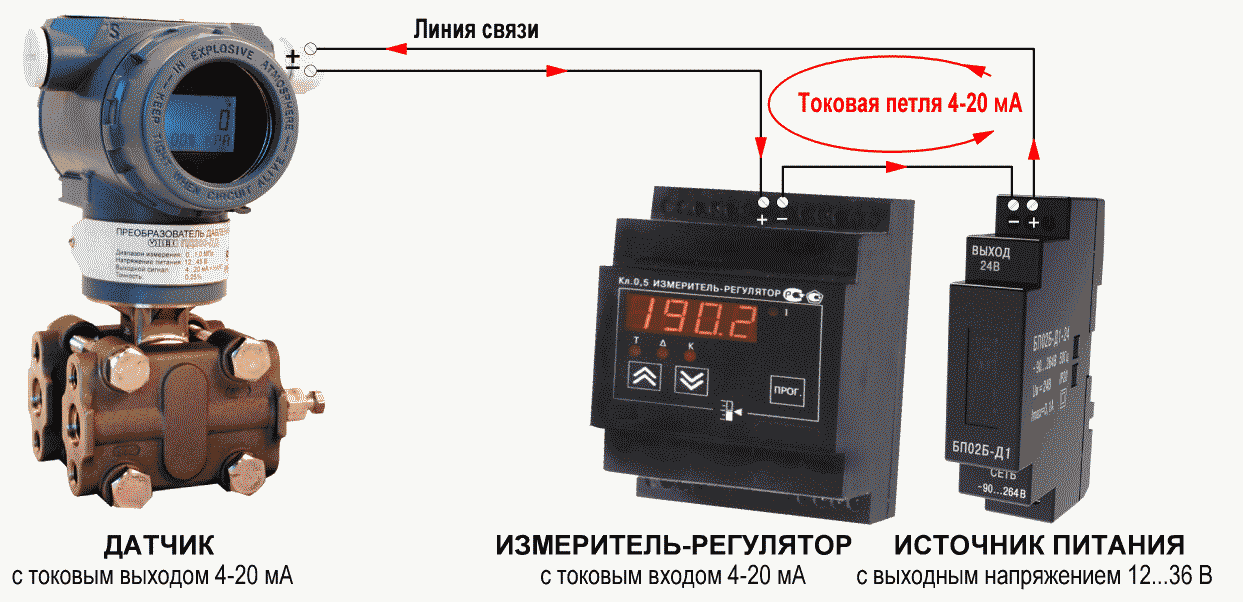
**МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЛИБРАТОРА ТОКОВОЙ ПЕТЛИ**

**ДЛЯ НАЛАДКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Цель занятия:** Изучение принципов наладки интерфейса «токовая петля» и приобретение навыков по имитационному моделированию калибратора тока 4–20 мА в среде TINA-TI.

**1. Калибратор тока 4–20 мА и его модели**

Стандарт «токовая петля 4–20 мА» поддерживается подавляющим большинством производителей средств промышленной автоматизации. В общем случае подключение приборов выглядит следующим образом:

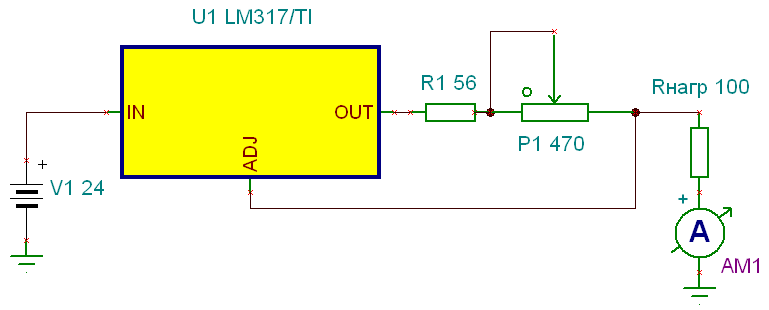


Применение «токовой петли 4–20 мА» в данном случае дает два преимущества.

Во-первых, приведение диапазона изменения измеряемой величины к стандартному диапазону обеспечивает взаимозаменяемость компонентов. Во-вторых, становится возможным передать сигнал на большое расстояние с высокой точностью. Важно также отметить, что питание датчик получает по двухпроводной токовой петле.

При наладке или ремонте средств автоматизации наиболее эффективным решением является включение вместо датчика технологического процесса с токовым выходом специального прибора – калибратора тока 4–20 мА. Как правило, прибор позволяет вручную устанавливать ток в диапазоне 2.5…22.0 мА, обеспечивая его стабилизацию в двухпроводном включении при изменении питающего напряжения от 12 до 36В и изменении нагрузки от 0 до 250 Ом.

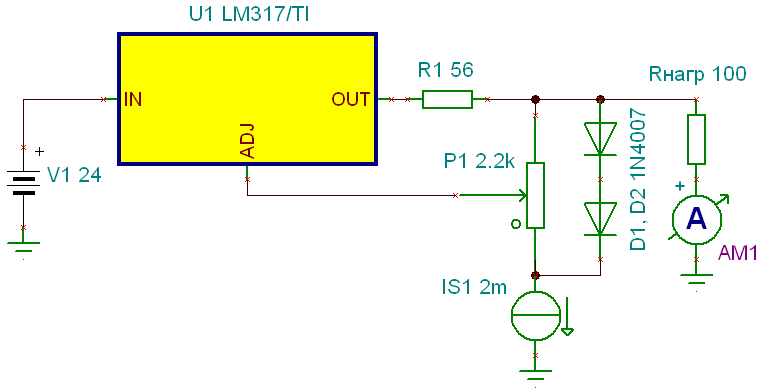
Роль имитационной модели калибратора может выполнять общеизвестная схема на основе ИМС регулируемого стабилизатора напряжения LM317 [11].

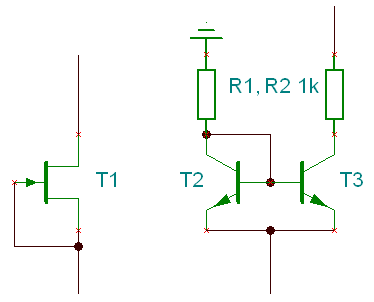


Данная схема полностью соответствует схеме подключения приборов, приведенной выше. Здесь источник напряжения V1 имитирует **источник питания**; идеальный амперметр АМ1 и Rнагр – **измеритель-регулятор**; микросхема U1 c резистором R1 и потенциометром Р1 – **калибратор**.

На практике эту схему для регулировки тока в широком диапазоне используют редко из-за значительной нелинейности регулировочной характеристики.

Для решения этой проблемы можно воспользоваться схемой регулируемого ограничителя тока:

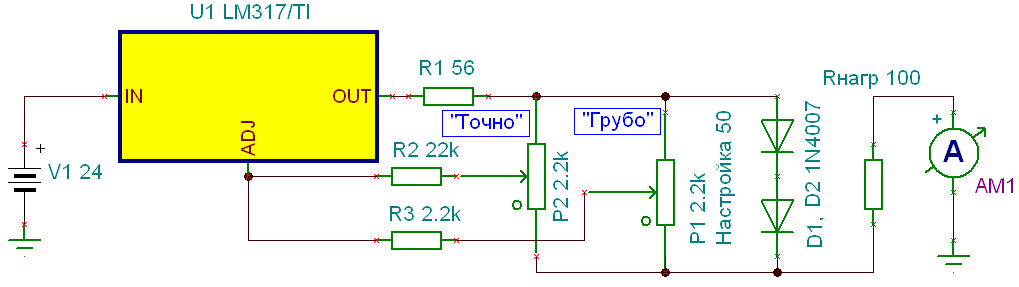


Здесь на диодах D1 и D2 выполнен источник опорного напряжения (ИОН) около –1.22 В. Он запитан через генератор стабильного тока, роль которого выполняет источник постоянного тока IS1 2 мА. Регулируя потенциометром Р1 часть опорного напряжения, подаваемого на вход ADJ микросхемы U1, можно линейно и в широких пределах изменять выходной ток. Здесь важно, что напряжение Vref (1.25 В) микросхемы LM317 почти равно напряжению на диодах D1 и D2.

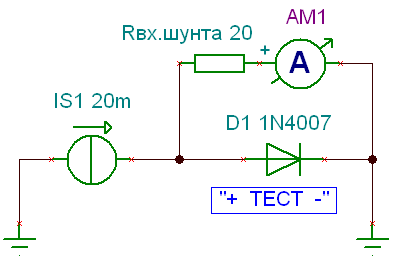
На практике генератор стабильного тока выполняется или на полевом транзисторе (Т1), или на основе «токового зеркала», объединяющего два идентичных биполярных транзистора (Т2, Т3). В обоих случаях используется дополнительный источник отрицательного напряжения Vss ≤ - 1,25 В.

С помощью приведенной выше схемы несложно убедиться, что выполняются и другие требования к калибратору, а именно, обеспечивается стабилизация тока при изменении питающего напряжения от 12 до 36В и изменении нагрузки от 0 до 250 Ом.

Для более «точной» установки тока последовательно с основным включается дополнительный потенциометр с номиналом в ~10 раз меньшим, чем у основного. Однако возможно и иное решение с весовыми резисторами R2 и R3, номиналы которых соотносятся как 1:10.



Ряд датчиков давления типа «Метран», «Сапфир» и др. снабжены клеммами «+ТЕСТ–», позволяющими не разрывая токовой цепи, подключать мультиметр для измерения тока. Между клеммами находится обычный диод, включенный последовательно в прямом направлении с выходным током датчика.

 В схеме слева источник тока IS1 имитирует калибратор тока с диапазоном его изменения 0÷40 мА; диод D1 подключен к клеммам «+ ТЕСТ –»;

идеальный амперметр АМ1 с Rвх.шунта 20 Ом имитирует мультиметр на измерительном пределе 20 мА.

Для сохранения линейности выходной характеристики при расширении диапазона изменения тока целесообразно последовательно с диодом D1 подключать дополнительный диод.

Имитационное моделирование в данной работе осуществляется в русскоязычной версии программы TINA-TI, являющейся результатом совместной разработки компаний Texas Instruments (США) и DesignSoft (Венгрия). SPICE-симулятор TINA-TI обладает простым, интуитивно понятным графическим интерфейсом. Все компоненты в TINA-TI распределены по шести группам: основные пассивные элементы, ключи, полупроводники, измерительные приборы, макромодели сложных устройств и источники. Имеются следующие виды анализов: по постоянному и переменному току (вычисление узловых напряжений, создание таблицы результатов, построение переходных характеристик и температурный анализ), переходных процессов, шумов, преобразование Фурье и некоторые другие. В зависимости от вида выполняемого анализа программа генерирует результаты в виде графиков или таблиц. Перед стартом любой симуляции выполняется проверка схемы на ошибки (ERC). Возможности тестирования и измерения сигналов реализуются виртуальными приборами: осциллографом, анализатором сигналов, цифровым тестером (с измерителем частоты), генератором функций и записывающим устройством.

**2. Порядок выполнения задания**

1. Ознакомиться с теоретическим материалом по имитационному моделированию калибратора «токовой петли 4–20 мА».

2. Ознакомиться с программой TINA-TI [12].

3. В связи с отсутствием в библиотеке TINA-TI компонента LM317, найти в Интернет SPICE-модель этого компонента и сохранить в виде файла, например LM317\_Spice.lib. Затем воспользоваться **Мастером новых макроэлементов** (меню **Инструменты)** и выполнить его инструкции.

3. Выбрать из таблицы исходные данные по номеру варианта задания, соответствующему номеру студента в журнале преподавателя.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Генератор стабильного тока | Включение нагрузки | Элементы точной установки | Диапазон токов в цепи «+ ТЕСТ –» |
| 1. | Полевой транз. | Парал. ИОН | Р2 послед. Р1 | 0÷40 мА |
| 2. | Токовое зеркало | Парал. ИОН | Р2 парал. Р1 | 0÷60 мА |
| 3. | Токовое зеркало | Парал. ИОН | Р2 послед. Р1 | 0÷60 мА |
| 4. | Полевой транз. | Парал. ИОН | Р2 послед. Р1 | 0÷60 мА |
| 5. | Токовое зеркало | Парал. ИОН | Р2 послед. Р1 | 0÷40 мА |
| 6. | - | Послед. ИОН | Р2 парал. Р1 | 0÷40 мА |
| 7. | Полевой транз. | Парал. ИОН | Р2 парал. Р1 | 0÷40 мА |
| 8. | - | Послед. ИОН | Р2 послед. Р1 | 0÷40 мА |
| 9. | Токовое зеркало | Парал. ИОН | Р2 парал. Р1 | 0÷40 мА |
| 10. | Полевой транз. | Парал. ИОН | Р2 парал. Р1 | 0÷60 мА |
| 11. | - | Послед. ИОН | Р2 парал. Р1 | 0÷60 мА |
| 12. | - | Послед. ИОН | Р2 послед. Р1 | 0÷60 мА |

3. Убедиться в нелинейности регулировочной характеристики простейшей модели калибратора Iнагр = *f*(%P1).

4. Оценить степень линеаризации той же характеристики в схеме регулируемого ограничителя тока с учетом заданного варианта исполнения генератора стабильного тока. В случаях с полевым транзистором и «токовым зеркалом» оптимальность выбора типов транзисторов контролировать в т. ч. по диапазону тока регулировочной характеристики.

5. Оценить степень стабилизации тока при изменении питающего напряжения

Iнагр = *f*(V1), где V1=12÷36В, и при изменении нагрузки Iнагр = *f*(Rнагр), где Rнагр=0÷250 Ом.

6. Добавить в модель элементы «точной» установки тока в соответствии с заданием и оценить диапазон регулирования тока Iнагр = *f*(%P2) при настройке Р1=50%.

7. Исследовать элементы между клеммами «+ ТЕСТ –» в соответствии с заданным диапазоном изменения тока и оценить их влияние на выходной ток Iвых = *f*(IS1).

8. Дополнить модель калибратора элементами тестирования и проверить по п.4 и п.5 соответствие полученных характеристик требуемым.

9. Оформить протокол и ознакомиться с контрольными вопросами.

**4. Содержание отчета**

1. Название и цель занятия.

2. Схемы моделей, исследованных в работе.

3. Графики характеристик рассмотренных моделей.

4. Основные выводы по выполненному заданию.

**5. Контрольные вопросы**

1 . Какие преимущества дает применение «токовой петли 4–20 мА»?

2 . Перечислите основные технические характеристики калибратора тока 4–20 мА.

3 . Какие принципы лежат в основе имитационной модели калибратора?

4 . Что собой представляет микросхема LM317?

5 . Чем обусловлена нелинейность регулировочной характеристики простейшей модели?

6 . Для чего необходимы элементы «точной» регулировки калибратора?

7 . Как влияет диод между клеммами «+ ТЕСТ –» на характеристики калибратора?

8 . Как реализуется генератор стабильного тока в модели калибратора?

9 . Как реализуется источник опорного напряжения в модели калибратора?

10. Перечислите основные характеристики программы TINA-TI.

**Задание №7**

**ПОТЕРИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ**

**ЛИНИЯХ СВЯЗИ (ВОЛС)**

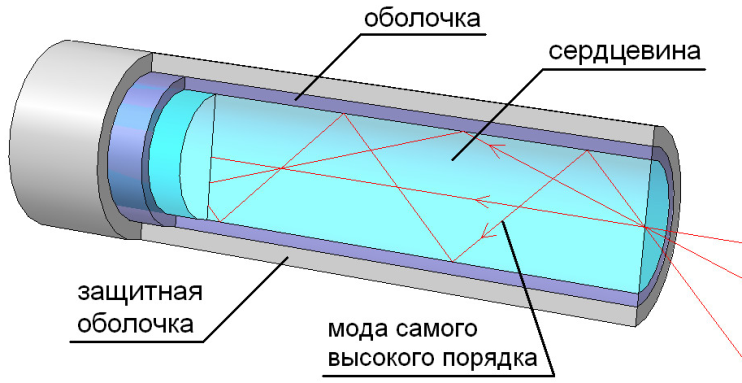
**Цель занятия:** Изучение основных видов и характеристик волоконно-оптических кабелей и способов их соединений. Освоение методов расчета потерь в ВОЛС.

**1. Волоконно-оптические линии связи**

Информационная сеть, связующими элементами между узлами которой являются волоконно-оптические линии связи, называется волоконно-оптической сетью.

Технологии волоконно-оптических сетей помимо вопросов волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие вопросы построения сетей. Несмотря на то, что эта технология все еще остается дорогостоящей, цены на оптические компоненты постоянно снижаются, в то время как возможности медных линий приближаются к своим предельным значениям и требуются все большие затраты на дальнейшее развитие этого направления.

ВОЛС в основном используются при построении объектов, в которых структурированная кабельная система должна объединить многоэтажное здание или здание большой протяженности, а также при объединении территориально-разрозненных зданий промышленных предприятий.

В подсистеме внутренних магистралей оптические кабели применяются одинаково часто с кабелями из витых пар, а в подсистеме внешних магистралей они играют доминирующую роль.

Волоконно-оптический кабель состоит из центрального проводника света (сердцевины) – стеклянного волокна, окруженного другим слоем стекла – оболочкой, обладающей меньшим показателем преломления, чем сердцевина. Распространяясь по сердцевине, лучи света не выходят за ее пределы, отражаясь от слоя оболочки. Существует два основных типа волокна: одномодовый и многомодовый (в них распространяются, соответственно, одна или несколько составляющих лучей света – мод).

В одномодовом волокне (Single Mode Fiber, SMF) центральный проводник света имеет диаметр, соизмеримый с длиной волны – от 5 до 10 мкм, при этом внешний диаметр составляет 125 мкм. Полоса пропускания одномодового кабеля достигает сотен ГГц/км. Изготовление тонких качественных волокон для SMF представляет сложный технологический процесс, что делает этот кабель достаточно дорогим.

В многомодовых кабелях (Multi Mode Fiber, MMF) используются более толстые проводники света, которые легче изготовить технологически. Наиболее часто используемые стандарты MMF: 62,5/125 мкм и 50/125 мкм, где 62,5 мкм и 50 мкм – диаметр сердцевины, а 125 мкм – внешний диаметр.

Различают многомодовые кабели MMF со ступенчатым изменением показателя преломления и с плавным изменением показателя преломления. Многомодовое волокно имеет более узкую полосу пропускания: от 500 до 800 МГц/км. Сужение полосы происходит из-за потерь световой энергии при отражениях, а также из-за интерференции составляющих лучей разных мод.

В качестве источника света в волоконно-оптических линиях применяются светодиоды и полупроводниковые лазеры. Для одномодового кабеля используются только полупроводниковые лазеры.

Для передачи информации применяется свет длиной волны 1550, 1300, 850 нм. Светодиоды могут излучать свет с длиной волны 850 и 1300 нм. Лазерные излучатели работают на длинах волн 1300 нм и 1550 нм.

В зависимости от основной области применения волоконно-оптические кабели подразделяются на три основных вида:

− кабели внешней прокладки (outdoor cables);

− кабели внутренней прокладки (indoor cables); − кабели для шнуров. Кабели внешней прокладки используются при создании подсистемы внешних магистралей и связывают между собой отдельные здания. Основной областью использования кабелей внутренней прокладки является организация внутренней магистрали здания, тогда как кабели для шнуров предназначены в основном для изготовления соединительных и коммутационных шнуров, а также для выполнения разводки классов «fiber to the desk» (волокно до рабочего места) и «fiber to the room» (волокно до комнаты).

***Преимущества и недостатки волоконно-оптической линии связи***

Большая полоса пропускания – одно из наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи информации. Широкая полоса пропускания ВОЛС обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько Тб/с.

ВОЛС имеет малое затухание светового сигнала. Выпускаемое в настоящее время отечественными и зарубежными производителями промышленное оптическое волокно имеет затухание 0,2–0,3 дБ/км на длине волны 1,55 мкм. Малое затухание и небольшая дисперсия позволяют строить участки линий без ретрансляции протяженностью до 100 км и более.

Низкий уровень шумов в ВОЛС позволяет увеличить полосу пропускания путем передачи различной модуляции сигналов с малой избыточностью кода.

ВОЛС имеет высокую помехозащищенность. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т. д.). В кабелях с большим числом проводников света также не возникает проблемы перекрестного влияния электромагнитного излучения, присущего многожильным медным кабелям.

Оптические кабели обладают меньшим весом и объемом по сравнению с медными кабелями в расчете на одну и ту же пропускную способность.

ВОЛС обеспечивает высокую защищенность от несанкционированного доступа. Поскольку от волокна практически не идет излучение в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приема-передачи. Системы мониторинга целостности оптической линии связи, используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить «взламываемый» канал связи и подать сигнал тревоги.

Еще одно преимущество оптического волокна заключается в его изолирующем свойстве. Волокно помогает избежать электрических «земляных» петель, которые появляются, когда два сетевых устройства, связанные медным кабелем, имеют заземления в разных точках здания. Возникающая при этом опасная разность потенциалов способна повредить сетевое оборудование. Для волокна подобной проблемы просто нет.

Из-за отсутствия искрообразования оптическое волокно повышает пожаробезопасность сети на предприятиях, при обслуживании технологических процессов повышенного риска.

Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличие от меди. В настоящее время стоимость волокна по отношению к медной паре соотносится как 2:5. При этом ВОЛС позволяет передавать сигналы на значительно большие расстояния без ретрансляции, т.е. с меньшим количеством повторителей на протяженных линиях.

Со временем волокно испытывает деградацию. Это означает, что затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако, благодаря совершенству современных технологий производства оптических волокон, этот процесс значительно замедлен, и срок службы ВОЛС составляет примерно 25 лет. За это время может смениться несколько поколений/стандартов приемопередающих систем.

В некоторых случаях требуется удаленное электропитание узла информационной сети. Оптическое волокно не способно выполнять функции силового кабеля. Однако в этих случаях можно использовать смешанный кабель, когда наряду с оптическими волокнами кабель оснащается медным проводящим элементом. Такой кабель широко используется как в России, так и за рубежом.  ***Неразъемное соединение волокна***

При монтаже оптических каналов связи приходится сталкиваться с проблемой непосредственного соединения световодов, поскольку технологическая длина оптического волокна обычно не превышает нескольких километров. Реальная трасса линий имеет длину в десятки, иногда сотни раз, большую. В оптическом кабеле могут возникать повреждения волокна под воздействием грызунов или окружающей среды. В этом случае замена всего технологического отрезка кабеля нецелесообразна и необходимо восстановить поврежденный световод в локальной зоне.

Использовать оптические коннекторы для соединения кабельных сегментов и поврежденных волокон невыгодно по многим причинам. Во-первых, это неэффективно экономически. Во-вторых, величина оптических потерь в подобном разъеме неприемлема при учете количества промежуточных соединений. В-третьих, массогабаритные показатели не позволяют соединять оптическими коннекторами многоволоконные кабели.

В зависимости от требований к качеству, надежности, мобильности соединения отдельных световодов различают два основных метода – сварки и механического сведения волокон. ***Технология сваривания волокна***

Сварка оптических волокон основана на расплавлении световодов электрической дугой с последующим их соединением. Для выполнения этой операции применяют специальные сварочные аппараты (см. рисунок слева).

Как и любые технические приборы, сварочные аппараты выпускаются в разных вариациях: с ручным управлением, с полуавтоматическим, а также полностью автоматическим управлением. Главное их отличие заключается в применяемых методах точного совмещения свариваемых волокон. В настоящее время ручные аппараты практически не применяются. Температуру, расположение и продолжительность дуги в современных аппаратах контролирует электроника. Полностью автоматические приборы управляют также процессом совмещения световодов. В таких аппаратах проще выполняется ручное сведение световодов с визуальным контролем посредством оптических микроскопов.

Вне зависимости от применяемых технологий сварки выдвигаются самые жесткие требования к торцам соединяемых волокон. Для получения качественного скола световода применяются специальные инструменты. Поверхность скола должна быть строго перпендикулярна оси волокна. В завершение процедуры сращивания место сварки защищают специальными термоусадочными трубками, которые заранее надевают на один из световодов. После термической обработки трубка плотно обжимает место стыка и придает дополнительную механическую прочность соединению.

В целом вносимые сваркой потери составляют менее 0,1 Дб.

***Технология механического совмещения***

Несмотря на то, что сварка является наиболее качественным из неразъемных соединений волокон, для ее осуществления требуется дорогостоящее оборудование и высококвалифицированный персонал. Кроме того, даже самые малогабаритные аппараты неудобны при сращивании волокон внутри механических конструкций. Поэтому широкое распространение получил и механический способ сведения волокон с помощью, так называемых сплайсов (от англ. splice), показанных на рисунке справа.

Простейший сплайс представляет собой вытянутую конструкцию с каналом для ввода сращиваемых световодов. Волокна подаются с противоположных концов. Сам канал может быть заполнен гелем для минимизации влияния зазоров между световодами. После соприкосновения волокон обычно дополнительно производят их механическую фиксацию за счет всевозможных защелок.

Затухание сигнала, вносимое в подобных соединениях, больше, нежели при сварке, однако меньше, чем при соединении с помощью обычных оптических коннекторов. Кроме того, в отличие от сварных сращиваний, сплайсы допускают многократное использование и не требуют большого жизненного пространства для выполнения операции, что важно при работе внутри малогабаритных конструкций. Но для достижения подобных показателей также необходимо применение специального инструмента для изготовления высококачественных сколов световодов.

В целом вносимые сплайсом потери составляют не более 0,2 Дб. ***Виды и характеристики оптических коннекторов***

В большинстве случаев протянуть цельное волокно от источника до приемника не представляется возможным. Обеспечение мобильности локальной оптической подсети достигается только с применением кроссового оборудования. Для многократного и простого подключения оптических отводов световоды снабжаются оптическими коннекторами. Учитывая размеры световодов, процесс совмещения волокна оптическими коннекторами представляет собой непростую задачу.

При переходе сигнала из одного световода в другой появляется ряд проблем. Потеря мощности или затухание оптической волны возникает при неточной центровке световодов. В этом случае часть лучей просто не переходит в стыкуемый световод или входит под углом больше критического. При неполном физическом контакте волокон образуется воздушный зазор. В связи, с чем возникает эффект



возвратных потерь. Часть лучей при прохождении прозрачных сред с разной плотностью отражается в обратном направлении.

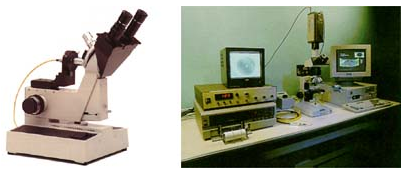
Неидеальная геометрическая форма волокон также вносит вклад в потери мощности. Это может быть и эллиптичность световода, и несоосность его сердцевины. Торец самого световода может содержать деформации: сколы и шероховатости, что в свою очередь уменьшает рабочую поверхность соприкосновения волокон.

Таким образом, необходимо точно и плотно совместить оба световода. Чтобы обеспечить сохранность хрупкого волокна при многократном совмещении, их оконечные отрезки помещают в керамические, пластмассовые или стальные наконечники.

Внутри наконечников существует канал, в который вводится и фиксируется химическим или механическим способом очищенный от оболочки световод. Для удаления защитного покрытия могут использоваться как специальные механические инструменты, так и химически активные растворы. Внутри наконечника световод может фиксироваться как по всей длине канала (чаще это методы на основе клея), так и в точке ввода волокна в наконечник (механические методы). Процесс механической фиксации занимает гораздо меньше времени (до нескольких минут) и основан на «придавливании» волокна с помощью полимерных материалов. Но он является менее надежным и недолговечным. Химический способ говорит сам за себя. Чаще всего фиксирующим составом в данной технологии выступают эпоксидные растворы, как наиболее надежные. Однако период полного загустевания такого состава весьма продолжителен – до суток. Поэтому при необходимости более быстрого монтажа коннекторов могут применяться другие компоненты или специальные печи для сушки. После установки световода в коннектор необходимо отшлифовать торец наконечника. Выступающий излишек волокна удаляется специальными инструментами. Основной принцип заключается в надрезе и обламывании световода, после чего можно приступать к непосредственной полировке поверхности.

Форма торцов наконечников может быть разной. Простейший вариант торца – плоская форма. Ей присущи большие возвратные потери, поскольку вероятность возникновения воздушного зазора в окрестности световодов велика. Поэтому чаще применяются выпуклые торцы (радиус скругления составляет порядка 10–15мм). При хорошем центрировании плотное соприкосновение световодов гарантируется, а значит более вероятно отсутствие воздушного зазора. Еще более продвинутым решением является применение скругления торца под углом в несколько градусов. Скругленные торцы меньше зависят от деформаций, возникающих при соединении коннекторов, поэтому подобные наконечники выдерживают большее количество подключений (от 100 до 1 000).

Подавляющее число коннекторов строятся на основе керамических наконечников, как более стойких. Анализ качества поверхности наконечника производится с помощью микроскопов. Профессиональные приборы обладают кратностью увеличения в сотни раз и снабжены специальной подсветкой с различных ракурсов. Они могут также иметь интерфейс подключения к дополнительному измерительному оборудованию.

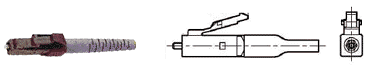


Согласно стандарту TIA/EIA 568A величина возвратных потерь для многомодового волокна в оптических коннекторах не должна превышать 20 дБ, а для одномодового 26 дБ. Платформой для установки коннекторов служит розетка. Входящие в нее коннекторы фиксируются таким образом, чтобы оси их наконечников были отцентрированы, параллельны и плотно прижаты.

Коннекторы различаются не только применяемыми наконечниками, но и типом фиксации конструкции в розетке. Самым распространенным представителем в оптических сетях является ST-тип коннектора (от англ. Straight Tip), показанный на рисунке слева.

Керамический наконечник имеет цилиндрическую форму диаметром 2,5 мм со скругленным торцом. Фиксация производится за счет поворота оправы вокруг оси коннектора, при этом вращения основы коннектора отсутствуют за счет паза в разъеме розетки. Направляющие оправы, сцепляясь с упорами ST-розетки при вращении, вдавливают конструкцию в гнездо. Пружинный элемент обеспечивает необходимое прижатие. Слабым местом ST-технологии является вращательное движение оправы при подключении/отключении коннектора, которое приводит все-таки к вращению наконечника. Даже минимальные изменения положения последнего влекут рост потерь в оптических соединениях. Кроме этого, наконечник выступает из основы конструкции на 5–7 мм, что ведет к его загрязнению.

Недостатки ST-коннекторов в настоящее время устраняют за счет применения SC-технологии (от англ. Subscriber Connector). Сечение корпуса здесь имеет прямоугольную форму. Подключение/отключение коннектора осуществляется поступательным движением по направляющим и фиксируется защелками. Керамический наконечник также имеет цилиндрическую форму диаметром 2,5 мм со скругленным торцом. Наконечник почти полностью покрывается корпусом и потому менее подвержен загрязнению, нежели в ST-конструкции. Отсутствие вращательных движений обуславливает более осторожное прижатие наконечников. В некоторых случаях SC-коннекторы применяются в дуплексном варианте. На конструкции могут быть предусмотрены фиксаторы для спаривания коннекторов или могут применяться специальные скобы для группировки корпусов. Коннекторы с одномодовым волокном обычно имеют голубой цвет, а с многомодовым– серый.

Коннекторы типа LC представляют собой малогабаритный вариант SC-коннекторов. Но конструкция реализуется на пластмассовой основе и снабжена защелкой. Наконечник изготавливается из керамики и имеет диаметр 1,25 мм. Встречаются как многомодовые, так и одномодовые варианты коннекторов. Ниша этих изделий – многопортовые оптические системы.

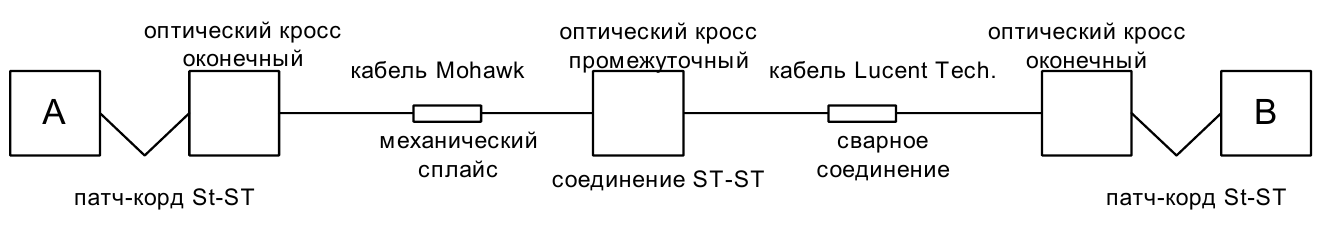
В одномодовых системах встречается еще одна разновидность коннекторов – FC. Они характеризуются отличными геометрическими характеристиками и высокой степенью защиты наконечника.

Для подключения дуплексного кабеля могут использоваться не только спаренные SC-коннекторы. Часто в этих целях применяют FDDI-коннекторы. Последние выполняются из пластмассы и содержат два керамических наконечника. Для исключения возможности неправильного подключения коннектор имеет несимметричный профиль. Технология FDDI предусматривает четыре типа используемых портов: A, B, S и M. Проблема идентификации соответствующих соединений решается за счет снабжения коннекторов специальными вставками, различающимися по цветовой гамме или содержащими буквенные индексы.

В основном данный тип используется для подключения к оптическим сетям оконечного оборудования.

**2. Расчет потерь в ВОЛС**

Последовательность расчета рассматривается на примере проектирования линии оптической связи для передачи сигналов Ethernet (см. рисунок ниже), соединяющей устройства A и B и содержащей кабели двух типов с заданной длиной: кабель производства Mohawk и кабель производства Lucent Technologies.



Кабели соединяются патч-кордами с разъемами ST с оконечными устройствами. Кроме того, кабель Lucent Technologies имеет один сварной участок, изготовленный с помощью полуавтоматического сварочного аппарата, а кабель Mohawk один раз сращен с помощью механического сплайса.

Задачей расчета является проверка соответствия проектируемой ВОЛС требованиям стандарта Ethernet.

Общее значение затухания на всем протяжении ВОЛС равняется сумме затуханий, возникающих на всех компонентах этой линии (кабель, коннекторы, механические соединители – сплайсы, сварочные соединения).

Параметры затуханий в компонентах линии приведены в следующих таблицах.

Параметры световодов многомодовых оптических кабелей

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Изготовитель | Страна | Диаметр сердцевины, мкм | Коэффициент затухания, дБ/км на длине волны, нм |
| Lucent Technologies (LT) | США | 62,5 | 1,0/1300 3,4/850 |
| Mohawk (M) | США | 50 | 1,0/1300 3,0/850 |

Потери в сростках неразъемных соединителей

|  |  |
| --- | --- |
| Оборудование для выполнения соединения | Средние значения потерь, дБ |
| Сварочный аппарат полуавтоматический | <0,2 |
| Сварочный аппарат автоматический | 0,02-0,1 |
| Механические сплайсы | 0,2-0,4 |

Параметры основных типов разъемных соединителей

(коннекторов) волоконных световодов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип коннектора | Материал наконечника | Средние потери, дБ на длине волны 1300 нм | |
| Многомодовый (MMF) | Одномодовый (SMF) |
| ST | Керамика | 0,25 | 0,3 |
| SC | Керамика | 0,2 | 0,25 |
| FC | Керамика | 0,2 | 0,6 |

Итоговое значение затухания ВОЛС сравнивается со значением предельного затухания для линии Ethernet – 11дБ. Если оно не превышает предельного затухания, значит, проектируемая линия отвечает требованиям Ethernet.

**3. Порядок выполнения занятия**

1. Ознакомиться с изложенным выше теоретическим материалом по ВОЛС.

2. Выбрать из таблицы исходные данные для расчета потерь в ВОЛС по номеру задания, соответствующему номеру студента в журнале преподавателя.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № задания | Тип/длина (м) кабеля | Тип неразъемного соединения | Типы коннекторов  патч-кордов |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12 | LT/400 и M/800  LT/400 и M/400  LT/800 и M/400  LT/800 и LT/800  M/400 и M/400  M/800 и M/800  LT/400 и M/800  LT/1000 и M/500  M/1000 и M/1000  LT/800 и LT/800  LT/800 и LT/800  LT/500 и M/1000 | Сплайс и сварка п/авт.  Сплайс и сплайс  Сплайс и сварка авт.  Сварка авт. и сварка авт.  Сварка п/авт. и сварка п/авт.  Сплайс и сварка п/авт.  Сплайс и сварка авт.  Сварка авт. и сварка авт.  Сплайс и сплайс  Сплайс и сварка авт.  Сварка п/авт. и сварка п/авт.  Сплайс и сварка п/авт. | ST- ST  ST- SС  FC-FC  SC-SC  ST- ST  ST- SС  ST- FС  FC-FC  ST- ST  ST- FС  ST- SС  SC-SC |

3. Нарисовать структурную схему ВОЛС в соответствии с исходными данными задания.

4. Рассчитать затухания во всех компонентах ВОЛС. Длину патч-корда принять 2м, а затухание в кабеле патч-корда – 1,25 дБ/км.

5. Определить общее затухание в ВОЛС и сравнить полученный результат с предельным значением, заданным спецификацией Ethernet.

6. Оформить протокол и ознакомиться с контрольными вопросами.

**4. Содержание контрольной работы**

1. Название и цель занятия.

2. Рисунок структурной схемы ВОЛС.

3. Расчеты потерь в компонентах ВОЛС и в линии в целом.

4. Основные выводы по выполненному заданию.

**Рекомендуемый библиографический список**

1. Олифер В. Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник

для Вузов. 4-е издание. СПб.: Питер, 2014.

2. Крейг Х. TCP/IP. Сетевое администрирование, 3-е издание. СПб.: Символ-Плюс, 2004.

3. Небаев И.А. Компьютерные сети передачи данных: Учебное пособие. СПб.: СПбГУТ, 2013.

4. Болдырев А.В. Моделирование компьютерных сетей в среде Computer Network Simulator:

компьютерный практикум. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2016.

5. Новиков Ю.В., Кондратенко С.В. Основы локальных сетей: Учеб. пособие для Вузов. – М.:

Интернет – Ун-т Информ. Технологий, 2012.

6. Болдырев А.В. Синтез и моделирование логических устройств на мультиплексорах: Метод.

указания / ДГТУ, Ростов н/Д. 2014.

7. Программа Micro-Cap (Win) http:// [www.spectrum-soft.com](http://www.spectrum-soft.com).

8. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. – М.:

Горячая линия – Телеком, 2007.

9. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006.

10. LM317-D. Three-Terminal Adjustable Output Positive Voltage Regulator. Motorola, Inc. 1996.

11. Программа TINA-TI (Win) http://www.ti.com/tool/tina-ti.

12. Медведская Т.М. Информационные сети: Лабораторный практикум. – Новосибирск: СГГА,

2010.