*Раздел* 2. Каналы и сети передачи данных

Лекция 5

Оптический канал передачи данных

1. Оптический канал передачи данных.

2. Характеристики оптических волокон.

3. Оптоволоконные линии связи.

**1.** **Оптический канал передачи данных**

Оптический канал передачи данных основывается на достижениях волоконной оптики, которая возникла в 1950-е годы. В конце 1993 года заработала первая очередь оптоволоконной опорной сети Москвы, полностью профинансированная Джорджем Соросом.

**1.1.** **Волоконная оптика**

***Волоконная оптика*** – раздел оптики, в котором рассматриваются вопросы передачи света и изображения по светопроводам и волноводам оптического диапазона, в частности по многожильным световодам и пучкам гибких волокон.

В волоконно-оптических деталях световые сигналы передаются по световодам с одной поверхности (торца световода) на другую – выходную, как совокупность элементов изображения, каждый из которых передаётся по своей световедущей жиле (рис. 1).



Рис. 1. Поэлементная передача изображения волоконной деталью:

1 – изображение, поданное на входной вогнутый торец;

2 – светопроводящая жила;

3 – изолирующая прослойка;

4 – мозаичное изображение, переданное на выходной торец

В волоконных деталях обычно применяют стеклянное волокно, световедущая жила которого (сердцевина) имеет высокий показатель преломления и окружена стеклом – оболочкой с более низким показателем преломления. Вследствие этого на поверхности раздела сердцевины и оболочки лучи претерпевают полное внутреннее отражение и распространяются только по световедущей жиле.

Несмотря на множество таких отражений, потери в световодах обусловлены главным образом поглощением света в массе стекла жилы. Коэффициент пропускания световодов в видимой области спектра составляет 30-70% при длине 1 м.

Диаметр световедущих жил в деталях различных назначений составляет от нескольких микрон до сантиметра. Распространение света по световодам, диаметр которых велик по сравнению с длиной волны, происходит по законам геометрической оптики. По более тонким же волокнам (порядка длины волны) распространяются лишь отдельные типы волн или их совокупности, что рассматривается в рамках волновой оптики.

Волоконные детали изготовляются из особо чистых материалов. Из расплавов подходящих марок стекол вытягиваются световод и волокно. Предложен новый оптический материал – кристалловолокно, выращиваемое из расплава. В нём световодами являются нитевидные кристаллы, а прослойками – добавки, вводимые в расплав.

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/006/360.htm).

**2.** **Характеристики оптических волокон**

Для передачи изображения применяются жёсткие многожильные световоды и жгуты с регулярной укладкой волокон. На входной торец изображение проецируется объективом, а на выходном наблюдается в окуляр.

Качество изображения в таких приборах определяется диаметром световедущих жил, их общим числом и совершенством изготовления. Обычно *разрешающая способность* таких жгутов составляет 10-50 линий на 1 мм, а в жёстких многожильных световодах и спечённых из них деталях – до 100 линий на 1 мм. Дефекты таких деталей, где бы они ни находились на длине световедущих жил, передаются по жилам на выходной торец и портят изображение. Это затрудняет изготовление высококачественных деталей.

Пластины, вырезанные поперёк из плотно спечённых волокон, служат фронтальными стеклами кинескопов и переносят изображение на их внешнюю поверхность, что позволяет контактно его фотографировать. При этом до плёнки доходит основная часть света, излучаемого люминофором, а освещённость на ней создаётся в десятки раз большая, чем при съёмке фотоаппаратом с объективом.

Числовая *апертура* волоконных деталей обычно лежит в пределах 0,4‑1,0.

(***Апертура*** (от лат. apertura – отверстие) – действующее отверстие оптической системы, определяемое размерами линз или диафрагмами. Угловая апертура – угол α между крайними лучами конического светового пучка, входящего в оптическую систему (см. рис.). Числовая апертура равна *n*sinα/2, где *n* – показатель преломления среды, в которой находится предмет. Освещённость изображения пропорциональна квадрату числовой апертуры. Разрешающая способность прибора (минимальное расстояние между 2 близлежащими точками, при котором они всё ещё видны отдельно) пропорциональна апертуре. Так как числовая апертура пропорциональна *n*, то для её увеличения рассматриваемые предметы часто помещают в жидкость с большим показателем преломления (в т.н. иммерсионную жидкость).



Сужающиеся пучки световодов – фоконы (фокусирующие конусы) — собирают на узком торце световой поток, падающий на широкий торец. При этом на выходе возрастают освещённость и наклон лучей. Повышение концентрации возможно до тех пор, пока числовая апертура конуса лучей на выходе не достигает числовой апертуры световода. Дальнейшее уменьшение диаметра выходного торца приводит к выходу части лучей из боковой поверхности световода или же возвращению их к широкому торцу.

Выпускают сотни типов оптических и электронно-оптических приборов с такими деталями. Жёсткие прямые или заранее изогнутые одножильные световоды и жгуты из волокон диаметром 15-50 мкм применяют в малой телеметрии, например, в медицинских приборах холодного света для освещения носоглотки, желудка и т.д. В таких приборах свет от электрической лампы собирается конденсором на входном торце световода или жгута и по нему подаётся в освещаемую полость. Это позволяет удалить от неё лампу – источник нагревания.

(*Дополнительный материал*: Световоды с заданным переплетением применимы в скоростной киносъёмке, для регистрации треков ядерных частиц, как преобразователи сканирования в фототелеграфии и телевизионной измерительной технике, как преобразователи кода и как шифровальные устройства.

Созданы активные (лазерные) волокна, работающие как квантовые усилители и квантовые генераторы света, предназначенные для быстродействующих вычислительных машин и выполнения функций логических элементов, ячеек памяти и др.

Волокна, закреплённые одним концом (подобно косой щётке), – септроны – позволяют анализировать спектры звуковых частот, выделять голоса из шума толпы, создавать устройства, управляющие машинами от голосовых сигналов, и т.д.).

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/006/360.htm), *В. Б. Вейнберг*.

*Дополнительная литература*

1. Капани Н.С. Волоконная оптика, пер. с англ. М., 1969.

2. Вейнберг В.Б. и Саттаров Д.К. Оптика световодов, М., 1969.

**3. Оптоволоконные линии связи**

Оптоволоконные линии связи работают в частотном диапазоне 1013 1016Гц, что на 6 порядков больше, чем в случае радиочастотных каналов (это обеспечивает пропускную способность 50000 Гбит/c).

В настоящее время каналы обычно имеют пропускную способность ~1 Гбит/c и это связано с ограниченным быстродействием оборудования, преобразующего оптический сигнал в электрический и обратно. В ближайшие годы следует ожидать увеличения быстродействия таких устройств в 100-1000 раз (http:// docs.luksian.com/networks/techs/intro/).

Известно, что

,

где *с* – скорость света,

*f* – частота,

λ – длина волны.

С учетом этого выражения, для наиболее популярного диапазона λ = 1,3 μ и δλ = 0, 17 μ мы имеем δ*f* = ~30ТГц.

Оптоволоконное соединение гарантирует минимум шумов и высокую безопасность (практически почти невозможно сделать отвод). Пластиковые волокна применимы при длинах соединений не более 100 метров и при ограниченном быстродействии (< 50 МГц). Вероятность ошибки при передаче по оптическому волокну составляет <10–10, что во многих случаях делает ненужным контроль целостности сообщений.

На рис. 2 изображено отдельное оптоволокно. Свет (длина волны λ ~ 1350 или 1500 нм) вводится в оптоволокно (диаметром d < 100 μ) с помощью светоизлучающего диода или полупроводникового лазера. Центральное волокно покрывается слоем (клэдинг 1), коэффициент преломления которого меньше чем у центрального ядра (стрелками условно показан ход лучей света в волокне). Для обеспечения механической прочности извне волокно покрывается полимерным слоем 2.



# Рис. 2. Изображение отдельного оптоволокна

При построении сетей используются многожильные кабели. Существуют и другие разновидности кабеля: например, двух- или четырехжильные, а также плоские).

Кабель может содержать много волокон 1, например восемь (рис. 3). В центре кабеля помещается стальной трос 3, который используется при прокладке кабеля. С внешней стороны кабель защищается (от крыс!) стальной оплеткой 2 и герметизируется эластичным полимерным покрытием.



# Рис. 3. Сечение оптоволоконного кабеля

Существует несколько типов оптических волокон, обладающих различными свойствами. Они отличаются друг от друга зависимостью коэффициента преломления от радиуса центрального волокна. На рис. 4 показаны три разновидности волокна (А, Б и В).

Буквами А и Б помечен мультимодовый вид волокон (понятие *мода* связано с характером распространения электромагнитных волн). Тип Б имеет меньшую дисперсию времени распространения и по этой причине вносит меньшие искажения формы сигнала. Установлено, что, придавая световым импульсам определенную форму (обратный гиперболический косинус), дисперсионные эффекты можно полностью исключить. При этом появляется возможность передавать импульсы на расстояние в тысячи километров без искажения их формы. Такие импульсы называются *солитонами*. При современных же технологиях необходимо использовать повторители через каждые 30 км (против 5 км для медных проводов).

По сравнению с медными проводами оптоволоконные кабели несравненно легче. Так одна тысяча скрученных пар при длине 1 км весит 8 тонн, а два волокна той же длины, обладающие большей пропускной способностью, имеют вес 100 кг. Это обстоятельство открывает возможность укладки оптических кабелей вдоль высоковольтных линий связи, подвешивая или обвивая их вокруг проводников.



Рис. 4. Разновидности оптических волокон, отличающиеся зависимостью коэффициента преломления от радиуса

Буквой В помечен одномодовый вид волокна. Эта разновидность волокна воспринимает меньшую долю света на входе, за то обеспечивает минимальное искажение сигнала и минимальные потери амплитуды. Следует также иметь в виду, что оборудование для работы с одномодовым волокном значительно дороже. Центральная часть одномодового волокна имеет диаметр 3-10 μ, а диаметр клэдинга составляет 30-125 μ. Число мод, допускаемых волокном, в известной мере определяет его информационную емкость. Модовая дисперсия приводит к расплыванию импульсов и их наезжанию друг на друга. Дисперсия зависит от диаметра центральной части волокна и длины волны света.

Число мод N равно для волокна типа А:

,

где d – диаметр центральной части (ядра),

А – численная апертура волокна,

λ – длина волны.

Волокно с диаметром центральной части волокна 50 μ поддерживает 1000 мод. Для волокна типа Б (рис. 3.2.2) значение N в два раза меньше. Численная апертура А равна , где n1 и n2 – соответственно, коэффициенты преломления ядра и клэдинга.

Величина А определяет ширину входного конуса волокна q (телесный угол захвата входного излучения) θ = arcsina.

Очевидно, что чем больше длина волны, тем меньше число мод и меньше искажения сигнала. Это, в частности, является причиной работы в длинноволновом инфракрасном диапазоне. Но даже для одной и той же моды различные длины волн распространяются по волокну с разной скоростью. Источники излучения инжектируемого в волокно имеют конечную полосу частот. Так светоизлучающие диоды излучают свет с шириной полосы 35 нм, а лазеры 2-3 нм (лазеры имеют, кроме того, более узкую диаграмму направленности, чем диоды).

(*Дополнительный материал*. Характеристики светодиодов и инжекционных лазерных диодов приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1. Характеристики светодиодов и инжекционных лазерных диодов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры | Светодиод (led) | Инжекционные лазерные диоды |
| Выходная мощность | 0,5 – 5 мВт | 3 мВт |
| Время нарастания | 1 нс | 1 нс |
| Диапазон тока смещения | 5 – 150 мА | 100 мА |

Время нарастания фотодиода ограничивает быстродействие системы. Не малую роль играет и уровень шумов на входе приемника. При этом световой импульс должен нести достаточно энергии (заметно больше уровня шума), чтобы обеспечить низкий уровень ошибок).

В таблице 3.2.2 приведены характеристики оптических приемников).

Таблица 3.2.2. Характеристики оптических приемников

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | pin | Лавинный фотодиод | Фототранзистор | Фотоприемник Дарлингтона |
| Чувствительность | 0,5 мкa/мкВт | 15 мкa/мкВт | 35 мкa/мкВт | 180 мкa/мкВт |
| Время нарастания | 1 нс | 2 нс | 2 мкс | 40 мкс |
| Напряжение смещения | 10 В | 100 В | 10 В | 10 В |

Поглощение света в волокне происходит по нескольким причинам. Поглощение собственно в стекле волокна падает с частотой, в то время как потери из-за рассеяния на дефектах стекла (релеевское рассеяние) с увеличением частоты растет. При сгибании волокна поглощение увеличивается. По этой причине следует избегать малых радиусов изгиба (кроме всего прочего это может привести и к обрыву). В результате потери света в волокне обычно лежит в диапазоне (2-5) дБ/км для длин волн 0,8-8 μ. Зависимость поглощения света в волокне от длины волны показана на рис. 3.2.3. Используемые диапазоны отмечены на рисунке зеленым цветом. Все эти диапазоны имеют ширину 25000-30000 ГГц.



Рис. 3.2.3. Зависимость поглощения света в волокне от длины волны

Из рисунка видно, что минимумы поглощения приходятся на 1300 и ~1500 нм, что и используется для целей телекоммуникаций. При длине волны 1300 нм дисперсия скоростей распространения различных длин волн минимальна. Диапазон ~850 нм характеризуется высоким поглощением, но он привлекателен тем, что как лазеры, так и электроника могут быть изготовлены из одного материала (арсенида галлия). Используемые оптические диапазоны выделены зеленым цветом.

(*Дополнительный материал*. Зависимость дисперсии от длины волны показана на рис. 3.2.4.



Рис. 3.2.4. Зависимость дисперсии от длины волны

Из рисунка видно, что в области ниже 1300 нм более длинные волны движутся быстрее коротких. Для длин волн >1300нм имеет место обратная ситуация – более длинные волны движутся медленнее коротких. Для одномодовых волокон определяющий вклад в искажения вносится дисперсией скоростей распространения, для многомодовых основной вклад вносит модовая дисперсия. Зависимость полосы пропускания волокна от его длины приведена на рис. 3.2.5.



Рис. 3.2.5. Зависимость полосы пропускания волокна от его длины)

Типовые характеристики оптических волокон приведены в таблице 3.2.3. (См. также: Дональд Дж. Стерлинг. Волоконная оптика. Техническое руководство. Изд. ОРИ, Москва, 1998 а также Дж. Гауэр. Оптические системы связи. Москва, Радио и связь, 1989).

Таблица 3.2.3. Типовые характеристики оптических волокон

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип волокна | Диаметр ядра,мкм | Диаметр клэдин га,мкм | А | Затухание при указанных длинах волн, дБ/км | Полоса пропуска ния, МГц/км |
| 850 | 1300 | 1550 |
| Одномодовое | 9,38,1 | 125125 | 0,130,17 |  | 0,40,5 | 0,30,25 | 5000 для 850 нм |
| Со сглаженным индексом | 5062,585 | 125125125 | 0,20,2750,26 | 2,43,02,8 | 0,60,70,7 | 0,50,30,4 | 600 для 850 нм;1500 для 1300 нм |
| Ступенчатый индекс | 200 | 380 | 0,27 | 6,0 |  |  | 6 при 850 нм |

Одним из критических мест волоконных систем являются сростки волокон и разъемы. Учитывая диаметр центральной части волокна, нетрудно предположить, к каким последствиям приведет смещение осей стыкуемых волокон даже на несколько микрон (особенно в одномодовом варианте, где диаметр центрального ядра менее 10 мкм) или деформация формы сечения волокон.

Соединители для оптических волокон имеют обычно конструкцию, показанную на рис. 3.2.6, и изготовляются из керамики. Потеря света в соединителе составляет 10-20%. Для сравнения сварка волокон приводит к потерям не более 1-2%. Существует также техника механического сращивания волокон, которая характеризуется потерями около 10% (splice). Оптические аттенюаторы для оптимального согласования динамического диапазона оптического сигнала и интервала чувствительности входного устройства представляют собой тонкие металлические шайбы, которые увеличивают зазор между волокном кабеля и приемником.



Рис. 3.2.6. Схема оптического разъема

С использованием оптических волокон можно создавать не только кольцевые структуры. Возможно построение фрагмента сети, по характеру связей эквивалентного кабельному сегменту или хабу. Схема такого фрагмента сети представлена на рис. 3.2.7 (пассивный хаб-концентратор).

Базовым элементом этой субсети является прозрачный цилиндр, на один из торцов которого подключаются выходные волокна всех передатчиков интерфейсов устройств, составляющих субсеть. Сигнал с другого торца через волокна поступает на вход фото приемников интерфейсов. Таким образом, сигнал, переданный одним из интерфейсов, поступает на вход всех остальных интерфейсов, подключенных к этой субсети.



Рис. 3.2.7. Схема пассивного оптоволоконного хаба

В последнее время заметного удешевления оптических каналов удалось достичь за счет мультиплексирования с делением по длине волны. За счет этой техники удалось в 16-32 раза увеличить широколосность канала из расчета на одно волокно. Схема мультиплесирования показана на рис. 3.2.8. На входе канала сигналы с помощью призмы объединяются в одно общее волокно. На выходе с помощью аналогичной призмы эти сигналы разделяются. Число волокон на входе и выходе может достигать 32.



Рис. 3.2.8. Мультиплексирование с делением по длине волны в оптическом волокне

Лекция 6

Общие принципы съема и обработки телеметрической информации

1. Источники телеметрической информации.

2. Методы регистрации параметров.

3. Характеристики регистрируемых показателей в светотехнике и другой телеметрической информации.

4. Сигналы и проблемы их телеметрической передачи.

5. Подразделение сигналов по видам и типовые формы сигналов.

6. Электрофизические характеристики светотехнических сигналов.

**1.** **Источники телеметрической информации**

В телеметрии информация от объектов, удалённых от пункта управления передается на большие расстояния. Объектами в светотехнике являются светотехнические устройства и установки. Источниками информации являются различные узлы и детали этих устройств, в которых изменяются те или иные параметры, характеризующие режимы их работы. Параметры снимаются при помощи датчиков.

Датчики являются одними из основных элементов в устройствах дистанционных измерений, телеизмерений и телесигнализации, регулирования и управления, а также в различных приборах и устройствах для измерений в физике, светотехнике, биологии и медицине для контроля жизнедеятельности человека, животных или растений (*датчики биологические*)*.*

В связи с автоматизацией производства важнейшее значение приобрели датчики для измерения и регистрации плотности и концентрации растворов, состава и свойств веществ, динамической вязкости и текучести различных сред, влажности, оптических свойств, прозрачности, интенсивности окраски, толщины слоя, температуры, упругости, концентрации зарядоносителей и других параметров, характеризующих технологические процессы.

**2.** **Методы регистрации параметров**

Регистрация параметров основана на ультразвуковых, радиоволновых, оптических, радиационных и других методах измерения. Методы регистрация параметров выбираются в зависимости от поставленных задач.

Наиболее распространены датчики, действие которых основано на изменении электрического сопротивления, ёмкости, индуктивности или взаимной индуктивности электрической цепи (реостатный датчик*,* ёмкостный датчик*,* индуктивный датчик и др.), а также на возникновении эдс при воздействии контролируемых механических, акустических, тепловых, электрических, магнитных, оптических или радиационных величин (тензодатчик, датчик перемещения*,* пьезоэлектрический датчик*,* датчик давления*,* фотоэлемент)*.*

Упомянем несколько методов регистрации параметров.

***1.Тензометрия*** (от лат. *tensus* – напряжённый и *...метр*) – метод измерения деформаций, вызываемых механическими напряжениями в твёрдых телах. Применяется при исследовании распределения деформаций в деталях машин, конструкций и сооружений, а также при механических испытаниях материалов. Как инструменты тензометрии наиболее распространены электротензометры сопротивления, основным элементом которых служит тензорезисторный датчик.

***2.Компенсационный метод измерений*** – метод измерений, основанный на компенсации (уравнивании) измеряемого напряжения или эдс напряжением, создаваемым на известном сопротивлении током от вспомогательного источника. Компенсационный метод измерений применяют не только для измерений электрических величин (эдс, напряжений, токов, сопротивления). Он широко применяется и для измерения других физических величин (механических, световых, температуры и т.д.), которые обычно предварительно преобразуют в электрические величины.

Компенсационный метод измерений является одним из вариантов метода сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (добиваются нулевого показания измерительного прибора). Компенсационный метод измерений отличается высокой точностью. Она зависит от чувствительности нулевого прибора (нульиндикатора), контролирующего осуществление компенсации, и от точности определения величины, компенсирующей измеряемую величину.

(*Дополнительный материал*: Компенсационный метод измерений электрического напряжения в цепи постоянного тока состоит в следующем. Измеряемое напряжение *Ux* (см. рис.)компенсируется падением напряжения, создаваемым на известном сопротивлении *r* током от вспомогательного источника *Uвсп* (рабочим током *Iр*). Гальванометр *Г* (нулевой прибор*)* включается в цепь сравниваемых напряжений перемещением переключателя *П* в правое положение. Когда напряжения скомпенсированы, ток в гальванометре, а следовательно, и в цепи измеряемого напряжения *Ux* отсутствует. Это является большим преимуществом компенсационного метода измерений перед другими методами, так как он позволяет измерять полную эдс источника *Ux* и, кроме того, на результаты измерений этим методом не влияет сопротивление соединительных проводов и гальванометра. Рабочий ток устанавливают по *нормальному элементу EN*с известной эдс, компенсируя её падением напряжения на сопротивлении *R* (переключатель *П* – в левом положении*)*. Значение напряжения *Ux* находят по формуле *Ux* = *ENr*/*R*, где *r* – сопротивление, падение напряжения на котором компенсирует *Ux*.

При измерении компенсационным методом силы тока *Iх* этот ток пропускают по известному сопротивлению *R0* и измеряют падение напряжения на нём *IxR0.* Сопротивление *R0* включают вместо показанного на рис. источника напряжения *Ux.* Для измерения мощности необходимо поочерёдно измерить напряжение и силу тока. Для измерения сопротивления его включают во вспомогательную цепь последовательно с известным сопротивлением и сравнивают падения напряжения на них).

Электроизмерительные приборы, основанные на компенсационном методе измерений, называются *потенциометрами* или электроизмерительными компенсаторами. Компенсационный метод измерений применим также для измерений величин переменного тока, хотя и с меньшей точностью. Компенсационный метод измерений широко применяется в технике в целях автоматического контроля, регулирования, управления.

***Потенциометр*** (от лат. potentia-сила и ... *метр*):

1) электроизмерительный компенсатор – прибор для определения эдс или напряжений *компенсационным методом измерений.* С использованием мер сопротивления потенциометрможет применяться для измерения тока, мощности и других электрических величин, а с использованием соответстветствующих *измерительных преобразователей –* для измерения различных неэлектрических величин (например, температуры, давления, состава газов и т.д.). Различают потенциометрыпостоянного и переменного тока.

В потенциометре постоянного тока измеряемое напряжение сравнивается с эдс *нормального элемента.* Поскольку в момент компенсации ток в цепи измеряемого напряжения равен нулю, измерения производятся без отбора мощности от объекта измерения. Точность измерений при помощи таких потенциометров достигает 0,01%, а иногда и выше. Потенциометры постоянного тока делятся на *высокоомные* (сопротивление рабочей цепи 104 -105 Ом, рабочий ток 10-3-10-4 А) и *низкоомные* (сопротивление рабочей цепи не св. 2-103 Ом*,* рабочий ток 10-1-10-3 А). Первые имеют пределы измерений до 2 В и применяются для поверки приборов высокого класса точности, вторые применяются для измерения напряжений до 100 мВ*.* Для измерения более высоких напряжений (обычно до 600 В) и поверки вольтметров потенциометры соединяют с делителем напряжения. При этом компенсируется падение напряжения на одном из сопротивлений делителя, составляющее известную часть измеряемого напряжения.

В потенциометре переменного тока измеряемое напряжение сравнивается с падением напряжения, создаваемым переменным током той же частоты на известном сопротивлении. При этом измеряемое напряжение компенсируется по амплитуде и фазе. Точность измерений потенциометров переменного тока порядка 0,2%.

В *электронных автоматических потенциометрах* как постоянного, так и переменного тока измерения напряжения выполняются автоматически. При этом компенсация измеряемого напряжения осуществляется посредством исполнительного механизма (электродвигателя), перемещающего соответствующие движки на сопротивлениях (реохордах) потенциометра. Исполнительный механизм управляется напряжением небаланса (разбаланса) – разностью между компенсируемым и компенсирующим напряжениями. Результаты измерений в электронных автоматических потенциометрах отсчитываются по стрелочному указателю, фиксируются на диаграммной ленте или выдаются в цифровой форме, что позволяет вводить полученные данные непосредственно в ЭВМ. Помимо измерений, электронные автоматические потенциометры могут выполнять функции регулирования параметров производственнных процессов. В этом случае движок реохорда устанавливают в определённое положение, задающее, например, требуемую температуру объекта регулирования или освещенность, а напряжение небаланса потенциометраподают на исполнительный механизм, соответственно увеличивающий (уменьшающий) электрический нагрев или регулирующий величину тока на светотехнической установке.

2) Делитель напряжения с плавным регулированием сопротивления, устройство (в простейшем случае в виде проводника с большим омическим сопротивлением, снабжённого скользящим контактом), при помощи которого на вход электрической цепи может быть подана часть данного напряжения. Такие делители применяются в радиотехнике и электротехнике, в аналоговой вычислительной и в измерительной технике, а также в системах автоматики, например, в качестве датчиков линейных и угловых перемещений.

Что касается методов *регистрации фотометрических величин*, то зависимости от используемых методов измерения условно делят на визуальную, фотографическую, фотоэлектрическую, фотохимическую и так далее. При этом применяются различные селективные и неселективные приёмники излучения (т.е. приёмники, реакция которых зависит или не зависит от длины волны излучения). Для определения размерных фотометрич. величин применяют либо *фотометры с* непосредственным сравнением неизвестного и известного потоков, либо фотометры, предварительно градуированные в соответствующих единицах измерения энергетических или редуцированных фотометрических величин.

**3.** **Характеристики регистрируемых показателей в светотехнике и другой телеметрической информации**

В светотехнике регистрируются различные показатели, характеризующие оптическое излучение (световые величины):

-сила света,

-освещённость,

-яркость,

-световой поток,

-освечивание,

-светимостьи т.д.

Кроме того, регистрируются показатели, характеризующие оптические свойства материалов (прозрачность, отражательную способность) и пр.

Световые измерения производятся приборами, в состав которых входят приёмники света. (В простейших случаях в диапазоне видимого света приёмником, с помощью которого оцениваются световые величины, служит человеческий глаз (подробно см. *Фотометрия*).

Регистрируются также показатели, характеризующие различные режимы работы светотехнических установок: температура, давление, механические характеристики и т.д.

С понятием *регистрации*сигналов неразрывно связан термин «сигнал».

В наиболее общем смысле под этим понятием можно понимать операцию выделения сигнала и его преобразования в форму, удобную для дальнейшего использования, обработки и восприятия.

Так, при получении информации о свойствах каких-либо светотехнических объектов, под регистрацией сигнала понимают процесс измерения параметров объекта и перенос результатов измерения на материальный носитель сигнала или непосредственное энергетическое преобразование каких-либо свойств объекта в информационные параметры материального носителя сигнала (как правило – электрического).

**4.** **Сигналы и проблемы их телеметрической передачи**

***Сигнал*** (франц. signal, нем. Signal, от лат. signum – знак) – знак, физический процесс или явление, несущие сообщениео состоянии объекта либо передающие команды управления, оповещения и т.д.

Посредством совокупности сигналов можно с той или иной степенью полноты представить любое, сколь угодно сложное событие.

Сигналы от измерительных датчиков и любых других источников передаются по линиям связи к измерительным приборам и в измерительно-вычислительные центры регистрации, обработки и хранения данных.

*Информация,* содержащаяся в сообщении, обычно представляется изменением одного или нескольких параметров сигнала – его амплитуды (интенсивности), длительности, частоты, ширины спектра, фазы, времени запаздывания, поляризации и др.

Как правило, информационные сигналы являются низкочастотными и ограниченными по ширине спектра (в отличие от широкополосных высокочастотных каналов связи, рассчитанных на передачу сигналов от множества источников одновременно с частотным разделением каналов).

Сигналы могут преобразовываться (без изменения несомой ими информации) из одного вида в другой, более удобный для последующей передачи, восприятия, хранения, переработки либо целенаправленного изменения информации, содержащейся в сообщении.

Преобразование непрерывных сигналов в дискретные называется *квантованием сигнала* (при этом неизбежна некоторая потеря информации).

Применение того или иного сигнала зависит от особенностей конкретной задачи по передаче сообщения (от требований по объёму информации и скорости её передачи или переработки, по надёжности, качеству и достоверности передачи, помехоустойчивости канала связи и т.д.), от уровня и характера помех, возможности реализация приёмной и передающей систем.

Так, например, в системах радиосвязи в качестве сигнала используются, как правило, электрические гармонические колебания с амплитудной или частотной модуляцией; в системах *сигнализации* на транспорте – преимущественно световые сигналы (изменение цвета, вспышки света) и звуковые сигналы (гудок, сирена).

При передаче информации на большие расстояния, обработке её на ЭВМ, а также в радиолокационных системах и системах навигации используют преимущественно электрические и электромагнитные и, в меньшей степени, световые сигналы. Такие сигналы характеризуются т.н. базой – произведением ширины спектра сигнала на его длительность. Если база сигнала ~1, то его называют простым, а если >>1 – то сложным.

Для некоторых областей применения (например, *радиолокации)* важным параметром сигнала является его корреляционная (или автокорреляционная) функция (см. *Корреляционный анализ, Корреляция),* характеризующая скорость изменения сигнала на выходе оптимального (т.е. согласованного с сигналом) приёмника при изменении частоты или времени запаздывания входного сигнала. По этой функции сигнала судят прежде всего о точности и разрешающей способности *радиолокационной станции* по скорости и дальности цели. Для импульсных сигналов (см. *Импульсная техника)* важным параметром является *скважность.*

*Целью обработки сигналов является извлечение определенных информационных сведений, которые отображены в этих сигналах и преобразование этих сведений в форму, удобную для восприятия и дальнейшего использования.*

В светотехнике и измерительной технике сигналы неэлектрического происхождения, как правило, преобразуются в электрические сигналы как наиболее удобные для трансформации, усиления, коррекции и т.п. операций.

В самом общем смысле, сигнал – это зависимость одной величины от другой, и с математической точки зрения представляет собой функцию. Наиболее распространенное представление сигналов - в электрической форме в виде зависимости напряжения от времени *U*(*t*).

Общие закономерности преобразования и передачи сигналов вне зависимости от их физической природы изучаются в теории информации.

**5.** **Подразделение сигналов по видам и типовые формы сигналов**

Выходные сигналы различаются по роду энергии и по своей природе могут быть:

-механическим (напр., деформация, изменение давления),

-тепловым (изменение температуры),

-световым (вспышка света, зрительный образ),

-электрическим (изменение силы тока, напряжения),

-электромагнитным (радиоволны),

-звуковым (акустич. колебания)

-пневматическим,

-(реже) гидравлическим и др.

По характеру модуляции потока энергии выходные сигналы также подразделяются на:

-амплитудные,

-время-импульсные,

-частотные,

-фазовые,

-дискретные (кодовые).

**5.2.Классификация сигналов**

***Классификация сигналов*** осуществляется на основании существенных признаков соответствующих математических моделей сигналов**.** Все сигналы разделяют на две крупных группы: детерминированные и случайные (рис.3).



Рис.3. Классификация сигналов.

Обычно выделяют два класса детерминированных сигналов:

–периодические;

–непериодические.

К *периодическим* относят гармонические и полигармонические сигналы.



Рис.4. Гармонический сигнал и спектр его амплитуд.

*Полигармонические* сигналы составляют наиболее широко распространенную группу периодических сигналов и описываются суммой гармонических колебаний.

Частотный спектр полигармонических сигналов дискретен, в связи с чем второе распространенное математическое представление сигналов – в виде спектров (рядов Фурье).

 

Рис.5. Временная модель сигнала Рис.6. Спектр сигнальной функции

Простейшими сигналами светотехнической практики являются *одномерные* сигналы, например, измерения каких-либо физиологических параметров в течение времени *s*(*t*).

Значения одномерных сигналов зависят только от одной независимой переменной, как, например, представленный на рис.1 сигнал.



Рис.2. Двумерный сигнал.

Все большее применение находят и *двумерные* сигналы, образованные из двух одномерных сигналов (рис.2), а также *многомерные* сигналы, образованные некоторым множеством одномерных сигналов.

Многомерные сигналы могут иметь различное представление по своим аргументам. Многомерный сигнал может рассматриваться, как упорядоченная совокупность одномерных сигналов. С учетом этого при анализе и обработке сигналов многие принципы и практические методы обработки одномерных сигналов, математический аппарат которых развит достаточно глубоко, распространяются и на многомерные сигналы.

**6.** **Электрофизические характеристики светотехнических сигналов**

К электрофизическим характеристики светотехнических сигналов можно отнести:

1.частотные хар-ки сигналов (полосу частот, необходимую для точного воспроизведения сигнала);

2.динамический диапазон сигнала.

*Частотные хар-ки сигналов*

Анализ содержания показывает, что:

1.Большинство светотехнических сигналов являются низкочастотными и верхняя частота большинства сигналов порядка 0,2-0,3 Гц.

2.Часть сигналов являются условно постоянными. Принцип преобразования этих сигналов их уже иной и поэтому проблема непосредственного усиления таких сигналов нередко отсутствует.

*Приведем пример.*

При отведении подобных сигналов он сразу преобразуется в переменный, т.е.модулируется или квантуется (импульсная модуляция) и далее при необходимости усиливается обычным низкочастотным усилителем.

*Uвых* = *ktтока*.

3.Ряд сигналов можно усиливать в меньшем диапазоне частот, несколько ограничивая их со стороны верхних и нижних частот.

*Пример*. Для высококачественной передачи сигнала требуется полоса частот от 0,2-500 Гц. Если сократить (сузить) полосу усилителя до 0,3-100 Гц, то визуально искажения не заметить.

В светотехнике для обеспечения помехоустойчивой передачи сигнала полосу частот для усилителя можно взять еще меньшую (0,5-30 Гц).

###### Амплитудный диапазон сигналов

Светотехнические сигналы имеют амплитуды в пределах 10 мкВ…5 мВ. В большинстве случаев амплитуда многих сигналов еще меньше и составляют порядка 0,5-1мВ.

###### **Для чего же необходимы сведения об исходных сигналах?**

Они нужны для того, чтобы технически грамотно сформулировать требования к техническому заданию на разработку электронного устройства или прибора.

Ведь вначале следует знать параметры сигнала, а уже далее выработать требования, например, к усилителю по полосе пропускания и по амплитудной характеристике. Усилитель не должен искажать форму сигнала, т.е.не должен ни дифференцировать его частично, ни интегрировать, а также не должен ограничивать (срезать) вершины сигнала.

Лекция 7

Измерительные преобразователи

1. Общие сведения об измерительных преобразователях.

2. Датчики и их классификация.

**1.** **Общие сведения об измерительных преобразователях**

***Измерительный преобразователь*** – средство измерений, преобразующее измеряемую физическую величину в сигнал для последующей передачи, обработки или регистрации.

В отличие от измерительного прибора, сигнал на выходе измерительного преобразователя (*выходная величина*) не поддаётся непосредственному восприятию наблюдателя. Обязательное условие измерительного преобразования – сохранение в выходной величине измерительного преобразователя информации о количественном значении измеряемой величины.

Измерительное преобразование – единственный способ построения любых измерительных устройств. Отличие измерительного преобразователя от других видов преобразователей – способность осуществлять преобразования с установленной точностью.

Измерительное преобразование одного и того же вида (например, температуры в механическое перемещение) может осуществляться различными измерительными преобразователями (ртутным термометром, биметаллическим элементом, термопарой с милливольтметром и т.п.).

Концепция представления измерительных устройств как устройств, осуществляющих ряд последовательных преобразований от восприятия измеряемой величины до получения результата измерения, первоначально была выдвинута в СССР М.Л.Цукерманом и окончательно сформулирована применительно к измерению неэлектрических величин Ф.Е.Темниковым и Р.Р.Харченко в 1948 году. В 1960-х гг. эта концепция стала общепризнанной во всех областях измерительной техники, приборостроения и метрологии.

Принцип действия измерительного преобразователя может быть основан на использовании практически любых физических явлений. Господствующей тенденцией в 1940-1970-х гг. стало преобразование любых измеряемых величин в электрический сигнал.

По виду преобразуемых величин различают измерительные преобразователи:

-электрических величин в электрические,

-электрических – в неэлектрические,

-неэлектрических – в электрические,

-неэлектрических – в неэлектрические.

Примерами *первых* могут служить делители напряжения и тока, измерительные трансформаторы, измерительные усилители тока и напряжения.

Примерами *вторых* являются механизмы электроизмерительных приборов, преобразующие изменение силы тока или напряжения в отклонение стрелки или светового луча, датчики ультразвуковых расходомеров и т. п.

Примерами *третьих* служат термопары, терморезисторы, тензорезисторы, фотоэлементы, реостатные, ёмкостные и индуктивные датчики перемещения.

Примерами *четвёртых* являются пневматические измерительные преобразователи, рычаги, зубчатые передачи, мембраны, сильфоны, оптические системы и т. п.

Конструктивное объединение нескольких измерительных преобразователей является также измерительными преобразователями. Примерами такого объединения могут служить: датчик – совокупность измерительных преобразователей, вынесенных на объект измерения. Так называемый промежуточный измерительный преобразователь – совокупность измерительных преобразователей, преобразующих выходные сигналы датчиков в другие сигналы, более удобные для передачи, обработки или регистрации.

По структуре составные измерительные преобразователи подразделяют на измерительные преобразователи прямого преобразования и уравновешивающего преобразования.

*Первые* характеризуются тем, что все преобразования величин производятся только в одном (прямом от входной величины к выходной) направлении. В этом случае результирующая погрешность определяется суммой погрешностей (с учётом их корреляционных связей) всех составляющих измерительных преобразователей.

Для *вторых* характерно применение обратного преобразования выходной величины в однородную с входной и уравновешивающую её величину. Результирующая погрешность при этом определяется лишь погрешностью обратного преобразования и степенью неуравновешенности.

Измерительные преобразователи уравновешивания подразделяются на следящие преобразователи с обратной связью, статическим или астатическим уравновешиванием и преобразователи с программным уравновешиванием. Следящие измерительные преобразователи с обратной связью обеспечивают непрерывность преобразования во времени. Их недостаток – опасность потери устойчивости, проявляющейся в возникновении автоколебаний при увеличении глубины обратной связи. Измерительные преобразователи с программным уравновешиванием свободны от этого недостатка, но их особенностью является прерывность выходной величины, то есть появление выходной величины лишь в отдельные дискретные моменты времени.

В 1960-х гг. наметилась тенденция преобразования измеряемых величин в частоту электрических импульсов с помощью частотных измерительных преобразователей. Такие измерительные преобразователи разработаны почти для всех известных физических величин. Основные достоинства частотных измерительных преобразователей – простота и высокая точность передачи их выходной величины (частоты) по каналам связи, а также относительная простота цифрового отсчёта результата измерения с помощью цифровых частотомеров. В цифровых измерительных устройствах широко применяются измерительные преобразователи аналоговых величин в цифровой код и наоборот. В них используются принципы как частотных измерительных преобразователей (интегрирующие аналого-цифровые), так и программного уравновешивания (время-импульсные и поразрядного кодирования аналого-цифровые преобразователи).

(Классификацию измерительных преобразователей в дальнейшем можно привести в виде рисунка).

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/051/507.htm), *П.В.Новицкий.*

*Дополнительная литература:*

Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств, М. – Л., 1961.

Орнатский П.П. Автоматические измерительные приборы аналоговые и цифровые, К., 1965.

Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин, 4 изд., М. – Л., 1966.

Нуберт Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин, пер. с англ., Л., 1970.

**2.** **Датчики и их классификация**

**2.1. Определение и характеристики**

***Датчик*** –первичный преобразователь, элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину (давление, температуру, частоту, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т.п.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации, а также для воздействия им на управляемые процессы.

Специфические требования предъявляются к выходным сигналам и характеристикам датчиков при их использовании в системах централизованного контроля (см*. Централизованного контроля и управления машина*)*.* Поочерёдное подключение множества датчиков к одному измерительному устройству, особенно в светотехнике, требует максимальной унификации выходных параметров датчиков. В некоторых случаях термином «датчик» пользуются для обозначения всей передающей части телемеханического или автоматического устройства.

В состав датчика входят воспринимающий (чувствительный) орган и один или несколько промежуточных преобразователей (рис.1).



Рис. 1. Структурные схемы датчиков (слева — блок-схема, справа — примеры выполнения):

а – простейший вид датчика (термопара);

б – каскадное соединение преобразователей;

в – дифференциальный датчик;

г – компенсационный датчик;

1 – воспринимающий орган датчика (чувствительный элемент);

1а – термопара; 1б и 1г – мембраны; 1в – соленоидный индуктивный датчик;

2 – выходной орган датчика; 2б – индуктивный датчик;

3 – измеритель рассогласования (вычитающий элемент); 3г – индуктивный датчик;

4 – усилитель;

5 – генератор компенсирующей величины; 5г – магнитоэлектрическая система;

6 – промежуточный орган датчика;

*R* – электрическое сопротивление;

*L* – индуктивность; *е* – электродвижущая сила;

*I* – электрический ток; *p* – давление

Часто датчик состоит только из одного воспринимающего органа (например, термопара*,* термометр сопротивления, тензодатчик и др.).

Датчики характеризуются:

1)законом изменения выходной величины *у* в зависимости от входного воздействия (входной величины *х*);

2)пределами изменений входных (xmin – xmax) и выходных величин (ymin– ymax);

3)чувствительностью S = x;

4)порогом чувствительности (значением минимального воздействия, на которое реагирует датчик);

5)временными параметрами (постоянными времени).

В соответствии с классификацией, принятой в Государственной системе приборов и средств автоматизации (ГСП)*,* датчик относятся к техническим средствам сбора и первичной обработки контрольно-измерительной информации.

*Примечание*: При подготовке данного параграфа использованы материалы из (http:// www. cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/019/769.htm), *М.М.Гельман.*

(Добавить по видам конструкциями и принципом работы датчиков).

*Дополнительная литература:*

1. Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н.Н. Датчики контроля и регулирования, 2 изд., М., 1965.

2. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин, 4 изд., М. – Л., 1966.

3. Электрические измерительные преобразователи, под ред. Р.Р.Харченко, М. – Л., 1967.

4. Долгов В.А., Кедин А.В. Электронные датчики для автоматических систем контроля, М., 1968.

**2.2. Тензометрические датчики**

***Тензодатчик*** – измерительный преобразовательдеформации твёрдого тела, вызываемой механическими напряжениями, в сигнал (обычно электрический), предназначенный для последующей передачи, преобразования и регистрации.

Наибольшее распространение получили тензодатчики сопротивления, выполненные на базе тензорезисторов (ТР*)*, действие которых основано на их свойстве изменять под влиянием деформации (растяжения или сжатия*)* своё электрическое сопротивление (*тензорезистивный эффект*).

Конструктивно ТР представляет собой либо решётку (рис.1), изготовленную из проволоки 0,01-0,05 мм или фольги (из константана, нихрома, различных сплавов на основе Ni, Mo, Pt), либо пластинку из полупроводника, например Si.

Тензометрические датчики изменяют свое сопротивление (50÷1000 Ом) при механическом воздействии на них.



Рис. 1. Решётка тензодатчика:

1 – проволока; 2 – выводы решётки; 3 – перемычки; S – база датчика.

TP механически жёстко соединяют (например, приклеивают, приваривают) с упругим элементом тензодатчика (рис. 2), либо крепят непосредственно на исследуемой детали. Тензодатчики сопротивления обычно работают в области упругих деформаций. Упругий элемент воспринимает изменения исследуемого параметра *x* (давления, деформации узла машины, ускорения и т.п.) и преобразует их в деформацию решётки (пластинки) ε(*x*), что приводит к изменению сопротивления ТР на величину:

,

где *R*0 – начальное сопротивление ТР,

*k –* коэффициент тензочувствительности (для проволочных тензодатчиков *k =*<2-2,5; для полупроводниковых *k*~200).

Рис*.* 3*.* Схема включения двух тензорезисторов в мостовую цепь:

*R3, R4* – сопротивления обычных резисторов; *iаб* – ток в диагонали моста; *U –* источник питания (постоянного тока); У – усилитель; Р – устройство, регистрирующее результат измерения.

*Недостаток*: Для уменьшения погрешности требуется автоматическое введение поправок на температуру либо термокомпенсация. Наиболее распространён метод «схемной» термокомпенсации с использованием мостовых цепей.

###### 2.3. Реостатно-потенциометрический (угольный) датчик.

Реостатно-потенциометрический датчик представляет собой угольный датчик (резиновую трубку, наполненную угольным порошком). 

При изменении размеров резиновой трубки (длины *l* и сечения *s*) сопротивление *R* датчика изменяется по закону:

,

где *l* – длина резиновой трубки с угольным порошком;

*s* – сечение резиновой трубки;

ρ – удельное сопротивление датчика.

То есть управление идет по двум параметрам (по длине *l* и сечению). Удельное сопротивление равно сопротивлению проводника в единицу длины с поперечным сечением в единицу площади. Выражается в Ом-метрах (Ом⋅м).

Включается датчик в цепь моста. Для повышения чувствительности датчика он изготавливается из 2 резиновых трубок, каждая из которых включается в противоположные плечи электрической мостовой схемы.



*Недостатки датчика:* Имеет нелинейную амплитудную характеристику.

**2.4. Жидкостные датчики**

Иногда применяют жидкостный (электролитический) датчик. Резиновая трубка заполняется электролитическим раствором. Его достоинство – он имеет линейность в большом диапазоне рабочей характеристики (Применялся на американском спутнике по программе «Меркурий»).

**2.5. Емкостные датчики**

На практике находят применение и *емкостные датчики*. Они имеют малые габариты и высокую чувствительность. Емкостные датчики включаются в мостовые схемы (см.Тепляков. Радиотелеметрия, стр.17).



**2.6. Терморезисторные датчики.**

Из всех известных датчиков сравнительно простыми являются датчики температуры (термодатчики). В качестве термоэлементов в датчиках температуры используются терморезисторы, как элементы с наибольшей чувствительностью.

Терморезисторные датчики имеют большие температурные коэффициенты сопротивления. Применяются для регистрации не только температуры, но и колебаний воздушного потока.

Для снижения инерционности датчиков температуру термистора поднимают до 100°, а воздушный поток осуществляет его охлаждение.

Недостаток этого типа датчика заключается в отсутствии качества калибровки и инерционность датчика. Сведения относительные.

|  |  |
| --- | --- |
| *Обозначение терморезистора с положительным температурным коэффициентом (ТКС)* ([20\*], стр.15). |  |

Примеры обозначений:

*По новой системе обозначений*: ТР-4 – терморезистор с отрицательным ТКС с порядковым номером разработки 4 ([20\*], стр.20).

*По устаревшей системе обозначений*: СТ3 – постоянный непроволочный терморезистор с порядковым номером разработки 3 ([20\*], стр.21).

В принципе для регистрации температуры можно использовать и проволочные сопротивления, изготовленные из разных металлов (константан, манганин), транзисторы или конденсаторы.

Зависимость сопротивления терморезистора от температуры оценивается изменением удельного сопротивления ρ и может быть приближенно описана формулой

,

где  - удельное сопротивление датчика при 0°С,  - температурный коэффициент сопротивления (ТКС),  - температура датчика.

*Комментарии*: Удельное сопротивление ρ равно сопротивлению проводника в единицу длины с поперечным сечением в единицу площади. Выражается в Ом-метрах (Ом⋅м).

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) численно равен изменению сопротивления проводника при нагревании его на 1°С

.

*Таблица* 1. Температурные хар-ки металлов и терморезисторов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Металлы и терморезисторы | Температурный коэффициент сопротивления , %/град. | Постоянная времени, с |
| 1 | Платина, медь | ≈+0,0040 | – |
| 2 | Никель | ≈+0,0060 | – |
| 3 | ММТ-1 | ≈+4,0 (интервал 2,4…5) | 85 |
| 4 | КМТ-4 | ≈+8,0 (интервал 4,2…8,4) | 115 |
| 5 | СТ1-19 | ≈–3,0 (интервал 2,35…3,95) | 3,0 |

Как видим, температурный коэффициент или чувствительность у терморезисторов в 100-200 раз больше, чем у датчиков, изготовленных из отдельных металлов.

Известен обширный перечень терморезисторов следующих марок ([20\*], стр.32-45):

КМТ-1, КМТ-4, КМТ-8, КМТ-10, КМТ-11, КМТ-12, КМТ-14, КМТ‑17в,

ММТ-1, ММТ-4, ММТ-6, ММТ-8, ММТ-9, ММТ-12, ММТ-13, ММТ‑15, МКМТ-16,

ПТ, ПТ-1, ПТ-2, ПТ-3, ПТ-4,

СТ1-2, СТ1-17, СТ1-18, СТ1-19, СТ1-21,

СТ3-1, СТ3-6, СТ3-14, СТ3-17, СТ3-18, СТ3-19, СТ3-21, СТ3-22, СТ3-23, СТ3-25, СТ1-27, СТ3-28, СТ3-31, СТ3-33

СТ4-2, СТ4-15, СТ4-16, СТ4-16А, СТ4-17, СТ9-1А,

СТ5-1, СТ6-1А, СТ6-1Б, СТ6-3Б, СТ6-4Б, СТ6-4Г, СТ11-1Г, СТ10-1,

ТР-1, ТР-2, ТР-3, ТР-4,

ТКП-20, ТКПМ-20, ТКП-50, ТКПМ-50.

Они отличаются друг от друга диапазоном номинальных сопротивлений (при *t* = 20°С), температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) (при *t* = 20°С, %/°С) и областью применения.

Достоинство термодатчиков заключается не только в их простоте, го и в возможности обеспечения дистанционного измерения температуры с точностью до 0,1°С. Для обеспечения высокой точности применяют уравновешивающие мостовые схемы, которые не допускают большой разрегулировки.

Недостаток термодатчиков заключается в инерционности и малом динамическом диапазоне. Термодатчик имеет существенно большую инерционность, чем сам термоэлемент, из-за наличия корпуса. Приближение сопротивления датчика к значению, соответствующему измеряемой температуры объекта, происходит по логарифмическому или экспоненциальному закону.



Инерционность достигает 2-3 мин в зависимости от конструкции термодатчика (его массы и толщины футляра, прикрывающего корпус).

На сегодня сам терморезистор могут изготавливать малоинерционным до 10-15 с, но реализовать это в самом датчике не удается.

Многим разработчикам, даже высококвалифицированным казалось, что проблема сделать электронный термометр не является сложной. В литературе не раз были поспешные сообщения о создании малоинерционных термометров. Разработчики все свое внимание сосредотачивали на совершенствовании электрической схемы и электроники, а на датчик смотрели как на второстепенный фактор, не подозревая, что поставленная проблема заключается в датчиках.

При этом исследователи нередко делали вывод, работая с обнаженным терморезистором. Но стоит поместить терморезистор в корпус, как в последующем датчики выказывают свои издержки.

**2.7. Схемы включения терморезисторов**

Термодатчики представляют терморезистор, включенный в ту или иную электрическую схему.

Наиболее распространенной схемой является мостовая схема.



В начале работы показания измерительного прибора устанавливается на нуль (в соответствии с комнатной температурой), а далее величина расбаланса моста вызывает отклонение стрелки измерительного электроприбора, шкала которого проградуирована в градусах.

В последние годы применяется цифровое преобразование показаний моста.

*Комментарии*: Можно использовать упрощенное представление мостовой схемы для запоминания студентами.



**2.8. Регистрация подвижности объектов**

Широкое применение для регистрация подвижности объектов находят *потенциометрические датчики*.

*Потенциометрические датчики* относятся к датчикам активного сопротивления (*омическим* датчикам).

Потенциометрические датчики представляют собой проволочное сопротивление, вдоль которого перемещается скользящий контакт. Это по существу потенциометр, связанный с объектом измерения.

Объект связывается с потенциометрическим датчиком движения при помощи капронового троса. Сопротивление потенциометра прямо пропорционально величине хода троса. Постоянная составляющая выходного напряжения указывает на положение объекта по отношению к точке крепления датчика (расстояние от этой точки). Переменная составляющая выходного напряжения позволяет судить о степени подвижности объекта.

**2.9. Пьезоэлектрические датчики**

В пьезоэлектрических датчиках преобразование неэлектрических (механических) величин в электрические основано на появлении электрических зарядов на гранях некоторых естественных или искусственно созданных кристаллов (пьезоэлементов) при их деформации внешними силами. Заряд, возникающий вследствие пьезоэффекта, прямо пропорционален деформации.



Рис.1. Схема пьезоэлектрического эффекта

При создании датчиков, основанных на пьезоэффекте, приходится учитывать, что они регистрируют сигналы, пока сохраняется деформация и на пьезоэлементе существуют заряды ([4\*], стр.31).

**2.10. Индукционные датчики**

Индукционные датчики основаны на явлении электромагнитной индукции. При изменении магнитного потока в проводнике индуктируется электродвижущая сила *Е*.

(Величина *Е* определяется формулой ,

где *В* – магнитный поток в эрстедах; *l* – длина проводника (зависит от числа витков индукционной катушки); *V* – скорость движения проводника в однородном магнитном поле; α – угол между направлением витков катушки и магнитных силовых линий).

Различают два типа индукционных датчиков ([4\*], стр.32):

1.с перемещающимся магнитным полем;

2.с изменяющимся магнитным потоком.

1.Примером первого типа может служить сейсмический датчик, предназначенный для исследования механических эффектов. Он имеет подвижный магнит, выполняющий роль сейсмической массы. Подвижный магнит соединен с корпусом стальной пружиной. Вибрации тела вызывают колебания сейсмической массы (магнита) и перемещение магнитного потока относительно неподвижно расположенной катушки.

2.Для регистрации акустических феноменов и локальных вибраций используются индукционные датчики с изменяющимся магнитным потоком. В конструктивном отношении они сходны с электромагнитными телефонами. Такой датчик представляет собой расположенную в корпусе небольшую индукционную катушку с сердечником из магнитного сплава и мембрану, воздействующую на величину магнитного потока в катушке.

Частотная характеристика электромагнитных датчиков находится в диапазоне 50…500 Гц. Чувствительность датчиков тем выше, чем больше витков в индукционных катушках и чем выше магнитные свойства сердечника.

**2.11. Фотоэлектрические датчики**

Фотоэлектрические датчики конструируются обычно на основе фотосопротивлений (фотоэлементов с внутренним фотоэффектом). Изменение интенсивности света, падающего на проводящий слой, вызывает изменение тока в электрической цепи.

**2.12. Механотронные датчики**

Механотронные датчики представляют собой миниатюрную электронную лампу с подвижным анодом. Микроперемещения анода вызывают изменения анодного тока. Таким образом происходит управление параметрами электронной лампы.

**2.13. Датчики давления**

Датчики давления – миниатюрные электромагнитные датчики с мембранами в торце.

Лекция 8

Преобразование телеметрической информации в цифровую

1. Проблемы преобразования телеметрической информации в цифровую.

2. Предварительная обработка телеметрической информации.

3. Контроллеры.

**1.** **Проблемы преобразования телеметрической информации в цифровую**

**1.1. Типы сигналов**

Выделяют следующие типы сигналов (которым соответствуют определенные формы их математического описания):

–аналоговый;

–дискретный;

–цифровой.

***Аналоговый сигнал*** (analog signal) является непрерывной функцией непрерывного аргумента, т.е. определен для любого значения аргументов. Источниками аналоговых сигналов, как правило, являются физические процессы и явления, непрерывные в динамике своего развития во времени, в пространстве или по любой другой независимой переменной, при этом регистрируемый сигнал подобен (“аналогичен”) порождающему его процессу.

Пример графического отображения данного сигнала приведен на рис.1, при этом как сама функция, так и ее аргументы, могут принимать любые значения в пределах некоторых интервалов *y*1 ≤ *y* ≤ *y*2, *t*1 ≤*t* ≤ *t*2



Рис.1 Аналоговый сигнал

Если интервалы значений сигнала или его независимых переменных не ограничиваются, то по умолчанию они принимаются равными от -∞ до +∞. Множество возможных значений сигнала образует континуум – непрерывное пространство, в котором любая сигнальная точка может быть определена с точностью до бесконечности. Примеры сигналов, аналоговых по своей природе – изменение напряженности электрического, магнитного, электромагнитного поля во времени и в пространстве.

***Дискретный сигнал*** (discrete signal) по своим значениям также является непрерывной функцией, но определенной только по значениям аргумента.

По множеству своих значений он является конечным (счетным) и описывается дискретной последовательностью отсчетов (samples) y(nΔt), где *y*1 ≤ *y* ≤ *y*2, Δt – интервал между отсчетами (интервал или шаг дискретизации, sample time), *n* = 0, 1, 2, ..., *N*.

Величина, обратная шагу дискретизации: *f* = 1/Δ*t*, называется *частотой дискретизации* (sampling frequency).

Если дискретный сигнал получен дискретизацией (sampling) аналогового сигнала, то он представляет собой последовательность отсчетов, значения которых в точности равны значениям исходного сигнала по координатам *n*Δ*t*.

Пример дискретизации аналогового сигнала, приведенного на рис.1, представлен на рис.2.



Рис.2. Дискретный сигнал

***Цифровой сигнал*** (digital signal) квантован по своим значениям и дискретен по аргументу.

Он описывается квантованной решетчатой функцией

*yn*= *Qk*[*y*(*n*Δ*t*)],

где *Qk*– функция квантования с числом уровней квантования *k*, при этом интервалы квантования могут быть как с равномерным распределением, так и с неравномерным, например – логарифмическим.

 Задается цифровой сигнал, как правило, в виде дискретного ряда (discrete series) числовых данных – числового массива по последовательным значениям аргумента при Δ*t* = const, но в общем случае сигнал может задаваться и в виде таблицы для произвольных значений аргумента.

По существу, цифровой сигнал по своим значениям (отсчетам) является формализованной разновидностью дискретного сигнала при округлении отсчетов последнего до определенного количества цифр, как это показано на рис.3.



Рис.3. Цифровой сигнал

Итак, аналоговый сигнал содержит информацию в виде плавно изменяющихся величин, а цифровой сигнал содержит ряд дискретных значений.

Цифровой сигнал конечен по множеству своих значений. Процесс преобразования бесконечных по значениям аналоговых отсчетов в конечное число цифровых значений называется ***квантованием по уровню***, а возникающие при квантовании ошибки округления отсчетов (отбрасываемые значения) – ***шумами*** (noise) или ***ошибками*** (error) квантования (quantization).

Типичным примером цифровой системы являются счёты, поскольку на них величину можно представлять лишь целыми числами.

Электрический сигнал может быть аналоговым или цифровым. В первом случае электрический ток увеличивается или падает плавно, а во втором – резко, так как поступает прерывистыми импульсами.

Цифровую величину можно выразить через значение, или амплитуду, импульса тока. Различные типы данных можно задать через последовательность импульсов.

**1.2. Преобразование сигналов**

Итак, любой электрический сигнал можно получить как в аналоговом, так и цифровом виде.

Для перевода аналогового сигнала в цифровую форму используются аналогово-цифровые преобразователи (АЦП).



Рис.4. Электрический сигнал

АЦП измеряют аналоговую величину, разбивая ее по времени на отдельные отрезки, называемые *выборками* (рис.5). Размер выборки определяется величиной, которая называется *частотой выборки*.



Рис.5. Выборка значений

Далее числовое значение каждой выборки выражается в цифровом виде, например количеством импульсов.



Рис.6. Сигнал в цифровой форме

Поток цифровых данных из АЦП затем можно обработать на компьютере.

В цифровом виде информация сохраняется лучше, поскольку при обработке импульсы не искажаются, тогда как в аналоговый сигнал может быть внесена помеха.

Противоположную функцию выполняют цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Они преобразуют числа в непрерывный аналоговый сигнал.

(Одной из областей применения ЦАП можно назвать проигрыватели компакт-дисков, где они преобразуют цифровую информацию в звуковой сигнал).

На рис.7 приведена обобщенная схема системы цифровой обработки сигналов.



Рис. 7. Структурная схема системы дифференцирования сигналов

**2.** **Предварительная обработка телеметрической информации**

Понятие информации имеет много определений, от наиболее широкого (информация есть формализованное отражение реального мира) до практического (информация представляет собой сведения и данные, являющиеся объектом хранения, передачи, преобразования, восприятия и управления).

Что касается “данных” (от латинского datum – факт), то это совокупность фактов, результатов наблюдений, измерений о каких-либо объектах, явлениях или процессах материального мира, представленных в формализованном виде, количественном или качественном. Это не информация, а только атрибут информации – сырье для получения информации путем соответствующей обработки и интерпретации (истолкования).

Обработка данных телеизмерений производится, как правило, в два этапа. Будем различать предварительную обработку данных и окончательную.

Предварительная обработка данных производится в процессе испытаний светотехнических установок. Основным требованием к предварительной обработке данных является быстрота обработки данных, в то время как точность и простота анализа могут играть второстепенную роль.

Предварительная обработка данных включает в себя:

1. Получение экспресс-информации о поведении наиболее важных элементов светотехнического устройства. Экспресс-информация позволяет судить о том, находятся ли контролируемые параметры в пределах нормального функционирования.

2. Запись данных для запоминания и сохранения для последующей окончательной обработки.

3. Запись данных для просмотра всех телеметрируемых параметров.

Как правило, информационные сигналы являются низкочастотными и ограниченными по ширине спектра, в отличие от широкополосных высокочастотных каналов связи, рассчитанных на передачу сигналов от множества источников одновременно с частотным разделением каналов.

В некоторых случаях, предварительная обработка телеметрической информации сводится к анализу и подготовке сигналов для переноса их спектра из низкочастотной области в выделенную для их передачи область высоких частот, то есть к подготовке модуляции.

Под "анализом" сигналов (analysis) имеется в виду не только их чисто математические преобразования, но и получение на основе этих преобразований выводов о специфических особенностях соответствующих процессов и объектов.

*Целями анализа сигналов* обычно являются:

1.Определение или оценка числовых параметров сигналов (энергия, средняя мощность, среднее квадратическое значение и пр.).

2.Разложение сигналов на элементарные составляющие для сравнения свойств различных сигналов.

3.Сравнение степени близости, "похожести", "родственности" различных сигналов, в том числе с определенными количественными оценками.

Математический аппарат анализа сигналов весьма обширен, и широко применяется на практике во всех без исключения областях науки и техники.

С понятием сигнала неразрывно связан термин *регистрации*сигналов, использование которого также широко и неоднозначно, как и самого термина сигнал. В наиболее общем смысле под этим термином можно понимать операцию выделения сигнала и его преобразования в форму, удобную для дальнейшего использования, обработки и восприятия. Так, при получении информации о физических свойствах каких-либо объектов, под регистрацией сигнала понимают процесс измерения физических свойств объекта и перенос результатов измерения на материальный носитель сигнала или непосредственное энергетическое преобразование каких-либо свойств объекта в информационные параметры материального носителя сигнала (как правило – электрического).

При детектировании сигналов, несущих целевую для данного вида измерений информацию, в сумме с основным сигналом одновременно регистрируются и мешающие сигналы – шумы и помехи самой различной природы. К помехам относят также искажения полезных сигналов при влиянии различных дестабилизирующих факторов на процессы измерений,

***Одной из основных задач первичной обработки сигналов*** (результатов наблюдений) является выделение полезных составляющих из общей суммы зарегистрированных сигналов или максимальное подавление шумов и помех в информационном сигнале при сохранении его полезных составляющих

(*Дополнительный материал*. Многомерный сигнал может рассматриваться, как упорядоченная совокупность одномерных сигналов. С учетом этого при анализе и обработке сигналов многие принципы и практические методы обработки одномерных сигналов, математический аппарат которых развит достаточно глубоко, распространяются и на многомерные сигналы. Физическая природа сигналов для математического аппарата их обработки значения не имеет.

Вместе с тем обработка многомерных сигналов имеет свои особенности, и может существенно отличаться от одномерных сигналов в силу большего числа степеней свободы. Так, при дискретизации многомерных сигналов имеет значение не только частотный спектр сигналов, но и форма растра дискретизации. Пример не очень полезной особенности - многомерные полиномы сигнальных функций, в отличие от одномерных, не разлагаются на простые множители. Что касается порядка размерности многомерных сигналов, то ее увеличение выше двух практически не изменяет принципы и методы анализа данных, и сказывается, в основном, только на степени громоздкости формул и чисто техническом усложнении вычислений).

Сигналы могут быть объектами теоретических исследований и практического анализа только в том случае, если указан способ их математического описания – математическая модель сигнала. Математическое описание позволяет абстрагироваться от физической природы сигнала и материальной формы его носителя, проводить классификацию сигналов, выполнять их сравнение, устанавливать степень тождества, моделировать системы обработки сигналов.

Как правило, описание сигнала задается функциональной зависимостью определенного информационного параметра сигнала от независимой переменной (аргумента) – *s*(*х*), *y*(*t*) и т.п. Функции математического описания сигналов могут быть как вещественными, так и комплексными. Выбор математического аппарата описания определяется простотой и удобством его использования при анализе и обработке сигналов.

Модели могут задаваться таблицами, графиками, функциональными зависимостями, уравнениями состояний и переходов из одного состояния в другое и т.п. Формализованное описание может считаться математической моделью оригинала, если оно позволяет с определенной точностью прогнозировать состояние и поведение изучаемых объектов путем формальных процедур над их описанием.

Известны так называемые адаптивные системы обработки данных. В этих системах производится, например, оценивание определенных параметров входных и выходных сигналов, по результатам сравнения которых осуществляется подстройка параметров преобразования (переходной характеристики системы) таким образом, чтобы обеспечить оптимальные по производительности условия обработки сигналов или минимизировать погрешность обработки.

**3.** **Контроллеры**

***Контроллер*** (англ. controller, буквально – управитель) – электрический аппарат низкого напряжения, предназначенный для пуска и регулирования устройств постоянного и переменного тока.

Чтобы компьютер мог работать, необходимо, чтобы в его оперативной памяти находились программа и данные, которые попадают туда из различных устройств компьютера – клавиатуры, дисководов для магнитных дисков и т.д. Обычно эти устройства называют внешними, хотя некоторые из них могут находиться не снаружи компьютера, а встраиваться внутрь системного блока. Результаты выполнения программ также выводятся на внешние устройства – монитор, диски, принтер и т.д.

Таким образом, для работы компьютера необходим обмен информацией между оперативной памятью и внешними устройствами. Такой обмен называется *вводом-выводом*. Но этот обмен не происходит непосредственно: между любым внешним устройством и оперативной памятью в компьютере имеются целых два промежуточных звена:

1.Для каждого внешнего устройства в компьютере имеется электронная схема, которая им управляет. Эта схема называется контроллером, или адаптером. Некоторые контроллеры (например, контроллер дисков) могут управлять сразу несколькими устройствами.

2.Все контроллеры и адаптеры взаимодействуют с микропроцессором и оперативной памятью через системную магистраль передачи данных, которую в просторечии обычно называют *шиной*. Тип системной магистрали передачи данных внутри компьютера является важной характеристикой, которая определяет возможности и диапазон применимости компьютера. Шина входит в состав материнской (системной) платы. Все контроллеры внешних устройств, кроме размещенных непосредственно на материнской плате, подключаются к компьютеру путем вставки этих контроллеров в свободные разъемы (слоты) шины.

Одним из контроллеров, которые присутствуют почти в каждом компьютере, является контроллер портов ввода-вывода. Эти порты бывают следующих типов:

- параллельные – к ним обычно подключаются принтеры;

- асинхронные последовательные – через них подсоединяются мышь, модем и т.д.

- игровой порт – для подключения джойстика.

Некоторые устройства могут подключаться и к параллельным, и к последовательным портам. Параллельные порты выполняют ввод и вывод с большей скоростью, чем последовательные (за счет использования большего числа проводов в кабеле).

Посредством контроллера изменяют электрическое сопротивление в цепи управления, схемы соединений силовых цепей и цепей возбуждения.

Таким образом, контроллер осуществляет согласование рабочих параметров телеметрических систем и терминалов для обеспечения совместимости при передаче видео и аудио информации. Контроллер управляет также ресурсами каналов.