**Лекция 1 (Обзор литературы)**

**Лекция 2**

**Телекоммуникационные системы (ТС)**

**Аннотация:**

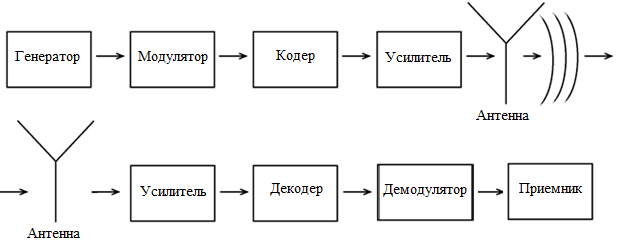
В лекции 2 в пункте 1 изложены краткие сведения о телекоммуникационных системах, введены основные понятия: ТС, сигнал, линия связи, канал связи. В пункте 2 представлен принцип работы ТС в виде структурной схемы передачи и приема сигнала. В пункте 3 представлен спектр радиоволн, применяемый в радиосвязи. В последнем пункте 4 представлен генератор незатухающий колебании в виде схемы, а также представлено уравнение колебаний, уравнение затухающий и незатухающий колебаний.

ТС – комплекс технических средств, обеспечивающий передачу и приём сигнала электросвязи определенного вида.

Сигнал – реализация функции физического процесса ввиде чисел, графиков, изображений. Сигналы возникают и передаются в виде электромагнитных колебаний по линиям передачи ТС. Линии передачи различаются по материалам среды распространения сигнала: проводная, радиорелейная, космическая, спутниковая, волоконно-оптическая.

Совокупность ТС (TS) образует телекоммуникационную сеть (TN). Сетевая телекоммуникационная технология будет рассмотрена на отдельных лекциях. Сигналы передаются по каналам связи, отличающихся по характеристикам методами передачи: частота, скорость, помехоустойчивость, непрерывный (аналоговый), дискретный (цифровой).

Пример принципа работы ТС.



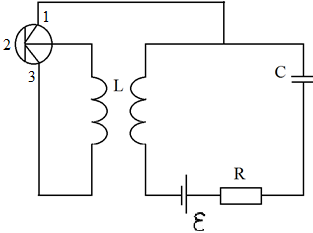
Сигнал от высокочастотного генератора модулируется (меняется по информации) и после усиления излучается антенной. От приемной антенны после демодуляции (выделения полезной информации) сигнал поступает приемнику. Такую возможность передачи сигнала впервые показали Герц (1880 г.), позже Попов и другие.

Спектр частот электромагнитных колебаний. Частота, f, период Т, длина волны λ, их значения представлены в таблице 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип колебаний | Частота, f, Гц= | Период, Т, с | Длина волны, λ, м  λ =  λ =сТ=3\*108Т |
| Низкочастотные | Килогерц, 103 Гц | 10-3, миллисекунда | длиные ~ 105 м =100 км |
| Высокочастотные | Мегагерц, 106 Гц | 10-6, микросекунда | средние и короткие ~ 103−101 м |
| Сверхвысокочастотные | Гигагерц, 109 Гц | 10-9, наносекунда | ультракороткие ~ 10-1 м = 0,1 см |
| Терагерц, 1012 Гц | 10-12, пикосекунда | микроволны ~ 10-4 |
| Петагерц, 1015 Гц | 10-15, фемтосекунда | Сверхвысокочастотные ~ 10-7 |

Используются термины очень (Very) низкие (Low), высокие (High), средние (Medium).

Генератор незатухающих колебаний (или автоколебаний). Принципиальная схема генератора Ван-дер-Поля (Балтазар).



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ламповая электроника:  1– катод  2 – сетка  3 – анод | Микроэлектроника:  1 – эмиттер  2 – база  3 – коллектор | Наноэлектроника:  1 – исток  2 – затвор  3 – сток |

Уравнение движения электрона по закону Ньютона

, , (1)

здесь − вторая производная по времени.

Решение (1)

x = x0 exp(t) = x0(cos ω0t + sin ω0t), − мнимая единица.

Уравнение затухающих колебаний:

, (2)

– коэффициент затухания.

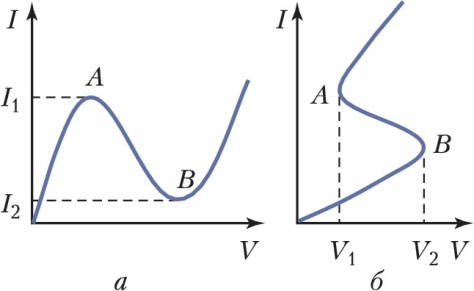
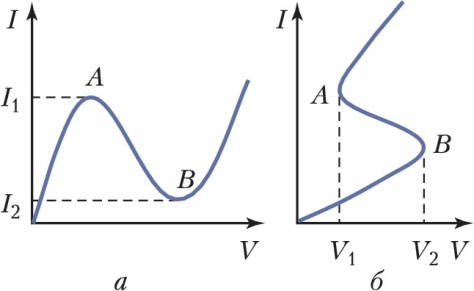
Уравнение автоколебания (незатухающих колебаний) – уравнение Ван-дер-Поля:

(3)

– коэффициент усиления. Если x<<1, то из сопоставления с (2) следует <0, то есть слабые колебания усиливаются, если x>>1, то наоборот, колебания затухают. Так реализуются автоколебания – незатухающие под действием постоянной силы.

Усиление колебаний описывается введением понятия “отрицательное сопротивление” ( ).

График таких токов (в полупроводниках, в газах).

## Лекция 3

**Распространение электромагнитных волн в ионосфере**

**Аннотация:**

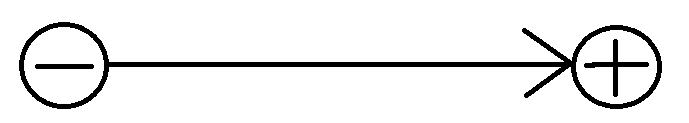
В лекции 3 изложены закономерности распространения электромагнитных волн в ионосфере. В пункте 1 представлены физические процессы прохождения и отражения электромагнитной волны через ионосферу. Выведена частота колебания электронов в ионосфере (плазменная частота). В пункте 2 выведен показатель преломления n электромагнитной волны через плазму. В пункте 3 представлены наблюдательные данные.

Спутниковая связь реализуется через отражение сигнала от ионосферы – верхнего слоя атмосферы. Солнечная радиация и поток космических лучей разлагают молекулы атмосферы на электроны и ионы, смесь которых образует плазму. Рассмотрим физические процессы прохождения и отражения электромагнитной волны через плазму.

Вектор индукции электрического поля ɛ определяется также как

*,* (1)

где - вектор поляризации, *N*-число электронов в единице объема, - расстояние отклонения электрона от иона:



X

Знак минус в (1) соответствует отрицательности заряда электрона. Из равенства двух определений *D*  имеем в скалярном виде

*ɛЕ = -4πNex+Е, ɛ = 1 -* (2)

Напряженность электрического поля Е найдем из второго закона Ньютона:

*,* (3)

*ω* – частота волны.

Подставляя (3) в (2): найдем диэлектрическую проницаемость

*ɛ(ω) = 1- ,* (4)

(5)

Формула (5) определяет частоту колебания электрона вокруг иона.

Найдем показатель преломления n электромагнитной волны через плазму:

*n = , ,* (6)

где *с* – скорость света*, υ* – скорость волны в среде.

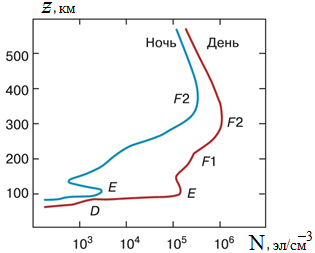
Подставляя (4) в (6):

*n=c ,* (7)

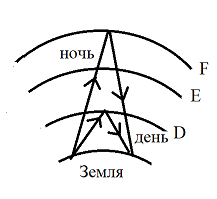
Если *ω>* – действительная величина, волна проходит через ионосферу. Если *ω<* то под корнем в (7) имеем отрицательную величину, т.е. *n*  - мнимая величина. Волна с частотой меньше, чем отражается.

Наблюдательные факты и техника радиосвязи.

По высоте от Земли *ƶ* концентрация электронов N соответствует графику:



*D, Е, F –* названия слоев ионосферы. Удаленный *F* слой содержит максимальную концентрацию электронов, что соответствует максимуму плазменной частоты От *F –* слоя сигнал может отразиться ночью, т.к. лучи Солнца попадают на расстояние *ƶ 103*км. Днем сигнал может отразиться от *D* *–* слоя. Схема приема:



## Лекция 4

**Физические основы изучения электромагнитных волн**

Электромагнитное поле описывается системой уравнений Максвелла, которая обобщает опытные результаты:

rot= − (1) – закон Фарадея электромагнитной индукции

rot= (2) – закон Ампера, Био-Савара-Лапласа о связи силы тока с магнитной

индукцией

div= (3) – закон сохранения заряда

div= (4) – отсутствие магнитного заряда

(5) – электрическое поле в веществе = (6) – магнитное поле в веществе

– соответственно векторы напряженности электрического поля, индукции магнитного поля, индукции электрического поля, напряженности магнитного поля;- плотность тока, ρ - плотность заряда, ɛ- диэлектрическая непроницаемость, μ - магнитная проницаемость.

Операция дифференцирования «ротор»:

=+,

– единичные векторы. (7)

Операция дифференцирования «дивергенция»:

div = = − скалярное произведение (8)

Пусть поле меняется только по х: =, 0, и имеет проекцию , т.е = = 0, .

Берем rot от уравнения (1) в проекциях: Е = :

, Е = :

=

Из уравнений (1) и (2)

− (9)

Ищем условие излучения вдали от тока , т.е j=0

C учетом (5)

= 0 (10)

Решение (10) ищем в виде плоской волны:

, (11)

где , ω - частота, - волновое число, =, λ- длина волны. Подставляя (11) в (10) имеем

(12)

В ваккуме = c - скорость света, c = , ɛ˳-диэлектрическая постоянная ваккума.

Найдем зависимость энергии колебания электрона от частоты. По второму закону Ньютона

, используя (11):

, (13)

Восполнение мощности антенны должно быть , так как потеря мощности на колебания электрона x² ~ Передача сигнала возможна высокими частотами.

Лекция 5 тест

1. В комплексе телекоммуникационной системы обязательно не входят:
2. Мультиплексор
3. Демодулятор
4. Маршрутизатор
5. Кодер
6. Дискретизатор
7. Характеристики и виды канала связи:
8. Вид провода
9. Бит/с
10. Гигабит
11. Аналоговый
12. Дискретный
13. Характеристика сверхвысокочастотных колебаний:
14. Микросекундные
15. Микроволновые
16. Фемтосекундные
17. Пентасекундные
18. Мегагерцовые
19. Элементы наноэлектроники:
20. База
21. Коллектор
22. Исток
23. Затвор
24. Эмитер
25. Решение уравнения колебания электрона
26. Уравнение незатухающих колебаний содержит член:
27. Автоколлебания возникают:
28. При “отрицательном сопротивлении”
29. Под действием постоянной силы
30. При наличий трения
31. В соответствий с частотой внешнего возмущения
32. Под действием идеальной силы
33. Значение при , которые меняются по у :
34. Решения уравнения волны = 0 , ищется через формулы:
35. Вектор электронной индукций определяется через формулы:
36. Плазменная частота определяется через формулы:

39. Причина отражения сигнала от ионосферы:
40. Большая концентрация электронов N в E- слое
41. N больше в F слое
42. Частота сигнала – плазменная частота
43. ночью в F - слое

Лекция 6

Виды и характеристики сигналов

(Лекция 1 - силлабус, литература. Лекция 5 - тесты)

Сигнал – представление функции зависимости физических величин различается по природе: детерминированный (по динамическим законам), динамически хаотический (по нелинейной эволюции), стохастический (по случайным воздействиям). По частоте различается: гармонический (одна частота), квазипериодический (несколько частот, соотношения которых нецелочисленные), шумовой (всевозможные частоты). По форме представления:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| аналоговый | дискретный | квантованный | цифровой |
| x (t),  x,t -непрерывные | x (),  - дискретное время | (t),  - дискретное значение x | (,  - дискретные |

Корреляция сигналов определяет взаимосвязь случайных явлений, описываемых этими сигналами. Корреляционная функция двух сигналов (t), (t) (t-время):

(t) (1)

Угловые скобки означают усреднение. Есть два вида усреднения: по ансамблю (множество случайных величин) и по времени. Усреднение по ансамблю основано на использовании совместной вероятности обнаружения величин , Применяется для описания явлений с большим характерным временем, как астрофизические. Мы будем пользоваться временным усреднением.

Если t₁=t₂ ( при усреднении по ансамблю) или x₁=x₂ при усреднении по времени) равно дисперсии:

(2)

- cреднеквадратическое отклонение.

Коэффицент корреляции (связи ) равен:

(3)

Для дискретных переменных:

(4)

Независимые случайные процессы некоррелированы  детерминированные, динамически связанные процессы имеют .

Сложные сигналы анализируются путем представления их в виде набора гармонических колебаний различных частот  через преобразование Фурье:

, (5)

Обратнoе преобразование Фурье:

(6)

Спектральная функция , корреляционная функция  (спектр мощности)  являются основными характеристиками анализа экспериментальных реализаций. Типичные их закономерности таковы. Гармонические сигналы имеют одно или несколько дискретные значения для них имеет тоже гармонический вид. Скачкообразные сигналы имеют сплошной спектр (непрерывные значения ) и быстроспадающие корреляции .

В общем случае спектр мощности (электрических колебаний с частотой ) описывается зависимостью вида  Случай , называется белым шумом (white noise). Случай называется розовым шумом, также «фликкер-шумом». Термин «flicker» (мерцание) был введен для описания мерцания интенсивности свечения катода в первых электронных лампах. Фликкер - шум наблюдается в системах различной природы. Если  и , то, соответственно, процесс называется коричневым шумом и черным шумом. Эти случаи обычно соответствуют реализациями социальных (финансовых) систем.

Природе и закономерностям цветного шума напрвлены многие современные исследования. Анализ радиофизических, биофизических и др. экспериментов показали, что показатель степени является дробным и связан с фрактальной размерностью (fractal dimension) – характеристикой скачкообразных кривых.

Корреляционный интеграл для дискретных значений  где *i*=1,2, ... , N – номера отсчетов вычисляется использованием формулы Хевисайда

, (7)

, (8)

где – масштаб измерения, порог для ненулевого значения корреляции. Из (8) следует степенная зависимость

, (9)

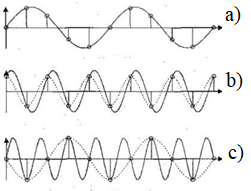
где D – корреляционная фрактальная размерность. С ростом значение насыщается, поэтому этот метод позволяет определить максимальное значение фрактальной размерности множеств телекоммуникационных, астрофизических данных.

Лекция 7

Частота Найквиста

Для цифровой техники необходимо знать при какой частоте дискретизации (отсчетов) аналогового сигнала можно его полностью восстановить. Введем обозначение чистоты Найквиста период дискретизации.

Теория Найквиста: если чистота гарманического сигнала меньше чистоты Найквиста, то дискретные отсчеты позволяют правильно восстановить аналоговый сигнал.

Эта теорема доказывается графически используя отсчеты в одинаковые моменты времени.

В случае а) сигнал восстанавливается

При b) частота восстанавливается, но амплитуда и фаза могут искажаться (пунктирная линия).

В случае c) частота будет другой (пунктир). Это искажение называется появлением ложных чистот. Из-за невыполнения условия в видеосъемке колесо автомобиля может показаться вращением в обратную сторону.

Модуляция сигналов

На дальние расстояния передается сигнал высокой частоты. Но простой гармонический сигнал постоянной частоты не содержит информацию (сообщение), так как ничего (частота, фаза, амплитуда) не меняется. Поэтому используют амплитудно-модулированные сигналы:

где переменная амплитуда − носитель информации, начальная фаза, полная фаза. Информация может передаваться также через изменения угловой модуляцией.

Для передачи сигнала без искажения необходимое условие: , − ширина спектра информационного сигнала.

Процесс выделения из принятого сигнала (1) информации называется демодуляцией. Для этого отделяют высокочастотную составляющую (отфильтрируют). Вычислительный метод фильтрации основан на умноженние правой части (1) на с последующим усреднением:

(2)

После демодуляции остается только модуль , форма отрицательной части сигнала теряется. Поэтому используют однополярную (только положительную) модуляцию:

(3)

где -коэффицент (глубизна) модуляции.

Из (3) следует для максимального и минимального значений

, , (4)

,

Случай называется перемодуляцией.

Коэффицент полезного действия (КПД) модуляции

Учитывая формулу

(5)

из (3) установим, что модулированное колебание имеет частоты и фазы . Частоты называются боковыми частотами.

Средняя мощность колебания (3):

(6)

Правые части (6) следуют из . КПД амплитудной модуляции определим как отношение мощности боковых частот к общей средней мощности сигнала:

(7)

Максимальное КПД составляет только 33%. Для увелечения используются различные методы, в том числе удаление боковых частот.

Лекция 8

Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)

Этот вид модуляции (АИМ) используется для цифровизации сигнала через импульсы (символ 1) и отсутствие несущего сигнала (символ 0). При этом уменьшается энергозатрата: несущий сигнал используется только при наличии импульса. АИМ реализуется путем умножения амплитудно-модулированного сигнала на единичную функцию, составленную из функции Хэви-Сайда θ (t):

, n=1,2,3…, (1)

где (2)

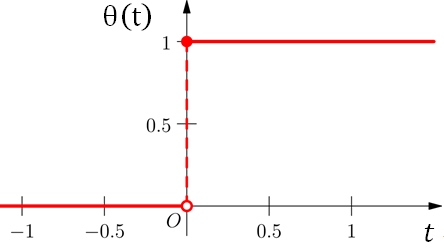
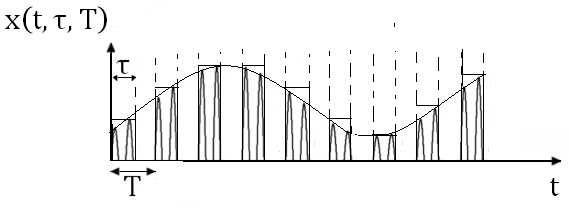


График формулы (1)



Производная по t дает δ – функцию Дирака:

(3)

Угловая модуляция (УМ)

УМ включает частотную и фазовую модуляции. Учитываются формулы связи фазы и частоты

, (4)

Если задана функция фазы , то фазовая модуляция представляется в виде

(5)

Частотная модуляция имеет вид

(6)

Из формулы (4) следует, что фаза может быть определена с точностью произвольного постоянного слагаемого :

(7)

Поэтому если не задана различать фазовую и частотную модуляции невозможно.

Если частота представляется в виде , то – называтся девиацией частоты.

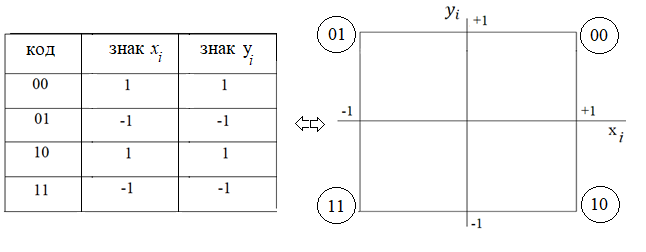
Квадратурная фазовая модуляция

Рассмотрим пример реализации цифровой фазовой модуляции, которая широко используется в создании современных модемов (модулятора и демодулятора). Квадратурное фазовое смещение кода(Quadrature Phase Shift Keying, QPSK). Квадратурное представление сигнала z(t) реализуется алгоритмом

, (8)

– биполярные дискретные величины, р – шаг квантования входного сигнала по амплитуде, – модуляционные коэффициенты.

В результате сигнал z(t) представляется через набор кодов (0,1) чертырехфазной модуляцией:



Для демодуляции используют перестоновку символов (01). В приведенном примере скачок фазы происходит на . Если менять скачок фазы  (каналов модулятора) на π (180°), то резкое изменение амплитуды приводит к возмущениям сигнала. Это означает запрет одновременной смены символов , т.е. исключаются переходы кодов (10)→(01), (00)→(11).

Таким образом один сигнал передается 4 сигналами, смещенными по фазе на . Этот алгоритм может быть расшерен по правилу N – число кодов, 2 – число символов, q – число каналов. В четырехфазном алгоритме

q = 2, N = 4; Можно создать фазовые модуляции при

Такие технологии создаются для повышения пропускной способности (скорости предачи) беспроводной телекоммуникации – систем MIMO (Multiple – Input, Multiple – Output) с множеством входов и множеством выходов.

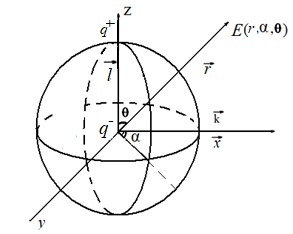
Лекция 9

Антенны

Антенна − устройство для излучения и приемарадиоволн. Электромагнитные колебания поступают к антенне по фидеру (провода, контакты). Колебания преобразуются в волны, длина (λ) которых сравнимы с характерными размерами антенны. Физику процесса поясним на примере вибратора Герца (электрический диполь, момент которого меняется во времени). Моментом диполя называется вектор

*,*  (1)

где − вектор расстояния от отрицательного к положительному заряду, − абсолютное значение зарядов. Электромагнитная волна поперечная: направления векторов напряженностей электрического поля (), магнитного поля (), и направления распространения- волнового вектора () перпендикулярны. В любой точке пространства значение можно задать через полярный угол (), азимутальный угол () и радиус-вектор () в сферической системе координат:

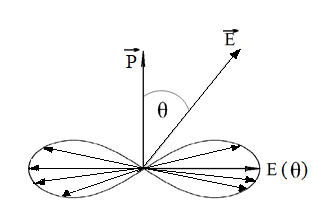


В силу однородности (*rconst*) и изотропности (пространства изменения слабы. Роль дипольного момента проявляется по углу

Если волна распространяется с волновым вектором по оси *х*, то проекция равна.

(2)

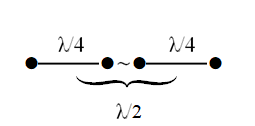
Диаграмма направленности () излучения согласно (1) при r=const:



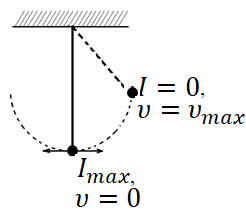
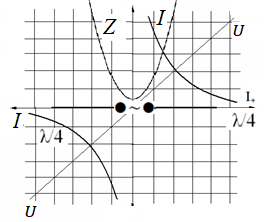
Виды антенн

Антенны, у которых поперечные размеры (*d*) малы по сравнению с продольными (*L*), называются линейными. Используются Г, Т образные для разных поляризации волн, петлевые для длин волн 2 *L*. Для коротких волн (высоких частот) используются антенны, щелевые, полосковые, апертурные и т.д.

Вибратор Герца − полуволновая резонансная антенна, состоит из двух частей длиной , к середине подключается источник:



Распределение тока *I* , напряжения *U*, комплексного сопротивления *Z* имеет аналогию с характеристиками маятника: скорость , потенциальная энергия , импеданс.

Заземленная антенна (антенна Маркони)

Одна часть вибратор Герца закапывается в землю. От глины волна хорошо отражается (от песка хуже). Результат такой же, как у вибратора Герца. Выигрыш – сокращение наружной длины антенны.

Антенная решетка поперечного излучения к плоскости антенны.

Антенны соединяются через расстояния (половина длины волны) перекрестно:

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Дана\Desktop\ddddddddddddddddd.png | - волновой вектор распространения  ⊛- перпендикулярный вектор электрического поля. |

Складываются волны со сдвигом фазы на в точках. В результате N раз усиление через N соединений. Случаи используются для усиления принимаемых космических сигналов.

Решетка продольного излучения по линиям соединения антенны:

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Дана\Desktop\ddddddddddddddddd.png | Напряженность электрического поля складывается по линиям соединения антенн. Вектор волнового числа перпендикулярен к . |

Видов антенн много, они содержат комбинации указанных вариантов. Например, антенна Яги-Уда объединяет вибратор Герца и отражающий элемент антенны Маркони.

Характеристики антенн, используемые на практике.

Длина *х* ближней (‘мертвой’) зоны, где нет излучения ,

*L*- длина антенны, - длина волны.

Коэффициент “усиления” антенны *− = ,* интервал полярного угла, ограничивающий диаграмму направленности. Антенна не усиливает волну, только характеризует узкую направленность распространения волны.

Волновое сопротивление , *P-*мощность затраченной энергии, *I-*необходимая сила тока.

Основы РЭТ. 2020-21. 2- аттестация. Лекция 6-9.

Лекция 10 тест

1. Форма записи квантованного сигнала

*А. X ()*

*B. X ()*

*C. (t)*

*D. ()*

*E. X ()*

2. Функция корреляции дисперсия*-D* и среднеквадратическое отклонение связаны:

*А.*

*B.=D*

*C. =D*

*D. =*

*E. =*

3. Коэффициент корреляции равен:

*А.*

*B.=*

*C. =*

*D. =*

*E. =*

4. Спектральная функция *x(ω)*, спектр мощности *E(ω)*,корреляционная функция равны:

*А.* Для синусоиды *E(ω)* имеет множество значений

*B.* Для функции Хэвисайда *E(ω)* имеет одно значение

*C.* Для гармонической функции *x(ω)* одно значение имеет

*D.* Для синусоиды − периодическое

*E.* Для функции Хэвисайда *E(ω)* имеет множество значений

5. При значениях частоты аналогового сигнала *f*  и периода *Т* он точно описывается дискретными отсчетами с частотой и с частотой Найквиста :

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

6. В формуле могут донести информацию выражения:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

7. Формула однополярной модуляции используется для:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

8. Коэффициент полезного действия амплитудной модуляции возрастает при:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

9. Необходимость амплитудно-импульсной модуляции

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

10. Необходимость функции Хэвисайда *θ(t)* в телекоммуникациях:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

11. При угловой модуляции задаются:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

12. Квадратурная фазовая модуляция используется для:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.* Разделения фазы сигнала на

*E.*

13. Различие форм антенн непосредственно определяет:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.* Помехоустойчивость

*E.*

14. Вибратор Герца представляет антенну:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

15. Решетки антенн с длинойиспользуется для:

*А.*

*B.*

*C.*

*D.*

*E.*

16. Характеристики антенн:

*А.*

*B.* Длина ‘мертвой’ зоны *x=, L*- длина антенны

*C.* Коэффициент “усиления”  *= ,* - полярный угол

*D.* Момент диполя ,- длина волны

*E.* Волновое сопротивление , *P-*мощность затраченной энергии, *U-*напряжение

Лекция №11

Характеристики каналов связи

Отношение сигнал/шум (SNR – signal noise ratio)

, (1)

– дисперсия сигнала, – дисперсия шума. Определением дисперсии мы уже пользовались. Обычно различимый звук имеет SNR более 10 децибел. С точки зрения науки недостаток формулы (1) – уровень шума измеряется, или задаётся это не всегда возможно. В биофизических, астрофизических и других природных явлениях сигнал и шум взаимосвязаны. Кафедра разрабатывает новые методы (информационно-энтропийные) определяется SNR без знания . Можете писать дипломные работы по этой теме.

Пропускная способность канала связи – максимальная скорость передачи сигналов в полосе частот :

(2)

где отношение дисперсии обычно заменяется отношением мощностей . Формула (2) по существу следует из (1) для суммы : = . Современные каналы связи имеют Гбит/с (гигабит). Формула (2) называется формулой Шеннона. Для белого шума→∞,=→, - мощность 1 бита шума.

Эффективное кодирование через информационную энтропию

В цифровой технике используются сигналы, записанные через (0,1). Из курса информатики известно, что любое число N можно записать через множество {0,1}:

, (3)

Чтобы записать “слова” через {0,1} нужно использовать вероятность появления каждой буквы с индексом *i* в общем числе букв N:

, (4)

Число символом кодирования 2 (0,1), если длина кода (“слова”) q, то

, (5)

Найдём средние значения в (5), умножив и просуммировав по :

(6)

, , (7)

где называется информационной энтропией Шеннона, – средняя длина кода. Если , то кодирование будет оптимальным (минимальная длина кода).

Лекция 12

Понятия информация, энтропия; применение их в телекоммуникациях

В предыдущей лекции мы убедились в том,что оптимальное кодирование достигается при равенстве длины кода к информационной энтропии. Рассмотрим необходимые пояснения. Имеем отсчеты сигнала Одномерная информация определяется по формуле:

*,* (1)

*,* (2)

где – вероятности числа искомых событий (процессов) при наблюдений и времени появления их в течение времени

Для зависимых, взаимоисключающих событий (процессов) применяется теорема сложения вероятностей:

(3)

Для независимых, наблюдаемых одновременно процессов

, (4)

применима теорема умножения вероятностей для совместной вероятности .

Информация безразмерная величина, но на практике используется специальные названия ее числовых значений:

|  |  |
| --- | --- |
|  | 210 (210=1024) |
| Байт | Килобайт |
| Килобайт | Мегабайт |
| Мегабайт | Гигабайт |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| n |  |  |
| 2 |  | Бит |
| 10 |  | , Хартли |
| 8 |  | Байт |
| e =2,73 |  | Нат |

Информационная энтропия Шеннона представляет среднее значение информаци;

(5)

Информация является мерой определенности, порядка в процессе (обьекте), информационная энтропия − мерой неопределенности, беспорядка. Равновесие (слабо меняющиеся во времени и пространстве) физические, процессы описывается энтропиями Клаузиуса в термодинамике, Больцмана (в статистической физике).

Формула энтропии Больцмана:

(6)

где постоянная Больцмана, при [T]=Дж, =1, т.е. если измерять температуру в Джоулях (а не в Кельвинах), то термодинамическая вероятность (число возможных перестановок положения молекул,). В равновесном состоянии все вероятности равны: В этом случае формула (6) переходит в формулу (1):

(7)

Телекоммуникационные сигналы меняются во времени – неравновесные. Поэтому необходимо пользоваться энтропией Шеннона (5).

Основной характеристикой в технике связи является отношение сигнал/шум (SNR). Обозначим принятый сигнал (шумовая смесь) через, а помехи (шум различной природы) через . Вместо формулы (1) нужно пользоваться условной информацией *I* (*y/x*), зависящей от двух переменных. Вместо (1) в случае двух переменных используется условная информация в виде разности энтропии ансамбля и условной энтропии *H* (*y/x*):

(8)

Условные информация и энтропия определяются через условную вероятность по теореме Байеса

(9)

где − совместная вероятность появления переменных , определяется из зависимости , т.е. от фазового портрета, аналогичного зависимости , где скорость,координата.

Формула (8) является новой, позволяет получать научные результаты. Известны условная и взаимная информации.

, (10)

(11)

которые симметричны , равна нулю при отсутствии корреляции между . Формула (8) асимметрична и не равно нулю при отсутствии корреляции Поэтому формула (8) позволяет, например, определить SNR при неизвестном уровне шума в смеси сигнал + шум, что очень важно для телекоммуникационных технологий.

Лекция №13

Технологии телекоммуникационных систем

Методы множественного доступа позволяют совместное использование одной линии связи двумя или большим количеством источников. Широкое применение имеют три метода.

1. Множественный доступ с разделением каналов на частоте − FDMA (Frequency-Division Multiple Access). Передача сигналов по каналам реализуется амплитудной модуляцией с различной несущей частотой, т.е. используется мультиплексирование (объединение) с разделением каналов по частоте. Например, в системе мобильной связи прямые обратные каналы отделяются на 45 МГц, а в службе персональной связи – на 80 МГц.

2. Множественный доступ с разделением каналов по времени TDMA (Time Division Multiple Access). Время передачи разделено на временные интервалы – слоты. С помощью коммутатора (переключатель) каждый канал от источников передает сигнал каждому получателю. При этом используется дискретизация непрерывных сообщений по времени, т.е. амплитудно-импульсная модуляция. Сначала передается сигнал первого канала, затем последующих каналов, после вновь переключается первый канал. Ширина спектра многоканального сообщения , – длительность импульсов.

3. Множественный доступ с кодовым разделением − CDMA (Code-Division Multiple Access) осуществляется технологией широкополосного спектра. Полоса частот модуляции выходного сигнала значительно превосходит спектр исходного. Соотношение между шириной полосы пропускания передающего канала и спектром исходного сигнала составляет 10:1 (коммерческая связь), 100:1 (военная связь). Возможны технологии: несущий сигнал с частотой модулируется частотой Ω и выходной сигнал модулируется шумоподобным сигналом . Условные обозначения вариантов технологии: (,Ω) или последовательность вида () Ω. Код псевдошумовой последовательности известен только на приемном и передающим концах.

Фильтрация сигналов

Фильтры преобразуют амплитуду сигнала в зависимости от частоты и фазы. Из курсов элементарной физики, общей физики известны аналоговые фильтры, содержащие R (сопротивление), С (емкость) элементы. Интегрирующая цепь пропускает низкие частоты (низкочастотный фильтр), дифференцирующая цепь – высокочастотный фильтр. Мы рассмотрим дискретные фильтры для отсчетов телекоммуникационных сигналов

Скользящее среднее. Формула выходного сигнала – результат усреднения последних *K* значений сигнала:

Гауссовские фильтры − простейшие рекурсивные (повторение фильтраций) фильтры:

(2)

(3)

Упрощенный вид фильтра Калмана:

где *K* – параметрический коэффициент (0<*K*<1). Значение *K* определяется как относительное отклонение сигнала от заданного его вида (шаблона). Если использовать вместо *K* отношение информации к энтропии, то сигнал можно отфильтровать, не используя шаблонный сигнал. Такой подход дает новые научные результаты.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

Модулированный передающей информацией луч лазера (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) распространяется по оптическому волокну согласно условиям полного внутреннего отражения. По закону Снеллиуса:

где показатели преломления света внутри стеклянной трубки и снаружи (. Условие полного внутреннего отражения от плотной среды:

Модуляция света возможна низкочастотными (звуковыми) колебаниями использованием формулы умножения колебаний

где *α β* имеет значение − низкочастотная фаза.

Оптические кабели имеют практически бесконечную полосу пропускания, т.к. оптический диапазон имеет высокие частоты: .

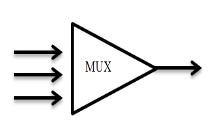
Лекция 14

Телекоммуникационные сети (TN-tel.Network)

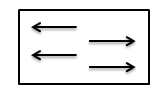
TN обеспечивает совместную работу многих каналов связи различной физической (кабельной, опто-волоконной , радиорелейной и др.), технологической (FDMA, TDMA, CDMA) природой.

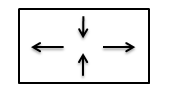
Различают 2 вида TN: первичная TN, вторичная TN. Основное различие: первичная TN использует коммутаторы (примеры первичной TN- локальная TN внутри организаций, название-“Ethernet” (“эфирная сеть”)).Вторичная TN использует маршрутизаторы для глобальной сети.

Коммутатор (switch-переключение) работает с мультиплексором (обозначение MUX). MUX выделяет из сигналов на многих входах один на выходе. Работа MUX основана на реализации логической схемы “ИЛИ” (дизъюнкция). Необходимый сигнал на выходе выбирается из кодов (0,1) входящих сигналов через “ИЛИ”.

Обозначение: 

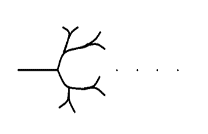
Выделенный сигнал коммутатор (SW) соединяет с линией через мостовую схему для диодов.

Обозначение: SW 

Маршрутизатор (Router) - R

выбирает нужную линию связи (в отличие от Коммутаторы) по алгоритму, обеспечивающему эффективность связи. Оптимальные траектории с учетом характеристик (скорость пропускания, помехоустойчивость, SNR, стоимость) можно выбрать через отношения информация/энтропия, что является научным подходом.

Цифровая иерархия телекоммуникационной сети (DHTN)

Иерархия означает ступенчатую закономерность элементов множества. Например, ветви дерева размножаются по закону , n=0,1,2 :

Это используется в TN для упрощения организации, управления. Различают два вида DHTN:

1) РDН – плезиохронная (Pleasure – желание,нестрого) иерархия,

2) SDН – синхронная (строго) иерархия.

РDН используется в американских,японских,европейских TN.

SDН используется в опто-волоконных линиях,в более современных TN.

Пример европейской SDН:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер  Иерархии | Число объедин. , каналов | Скорость пропускания TN в |
| 0 |  |  |
| 1 |  |  |
| 2 |  |  |
| 3 |  |  |
| 4 |  |  |

Режимы передачи сообщений. Синхронный режим – по битам (кода в двоичной системе), асинхронный режим – по байтам (в восьмеричной системе). По байтам составляются пакеты,которые объединяются в кадры.

Совокупность взаимосвязанных TN отдельных регионов,стран функционирует как всемирная паутина (WWW) – Internet. Установлены протоколы – правила передачи и приема сигналов (звук, изображение, база данных), алгоритмы программного обеспечения цифровых модулей. Интернет - приложения обширные (справочные, социальные, научные, финансовые и т. д.). Постоянно совершенствуется характеристика: скорость передачи, память, помехоустойчивость, стоимость и др. Научные основы новых алгоритмов WWW разрабатываются на кафедре и вы можете выбрать темы дипломных работ, магистерских, докторских диссертаций.

С технологией WWW связаны технологии нейтронные сети (NN)

Термин заимствован из биофизики. Мозг содержит ~ 109 нейтронов. Они скачком меняют свой электрический потенциал под внешнем воздействием (например, света). Импульсы активизируют память, после чего формируется реакция на сигнал.

В цифровой технике телекоммуникаций NN используются для обнаружения (типа сигнала), идентификации (конкретного объекта) сигнала, изображения из множества с 106-109 элементами. Иденификация объекта, характеристик процесса позволяет реализовать точную диагностику, прогностику, управление почти всей деятельностью человека: управление космическими полетами, финансовыми операциями, распознование личности по голосу, по фотографии. Например, некоторые компании сейчас заявляют, что можно обнаружить нарушителей карантина (от короновируса) с беспилотника (drone) с точностью до 1 из 107 человека.

Лекция 15 тест

3 аттестация

1. Формула отношения , если , ,, мощности и дисперсии сигнала и шума:

a.

b.

c.

d.

e.