**Лекция за 29.02.2012, часть 1**

Вся современная наука, связанная с представлениями и передачей данных, так или иначе, оперирует с представлениями данных в виде тех или иных сигналов электромагнитного спектра. Существуют и другие механизмы передачи информации. Например, акустика – передача звуковых сигналов, и к ней применима теория, рассматриваемая сегодня.

Будем рассматривать представление данных в виде электромагнитных сигналов.

*/\*Будет краткий курс физики… \*/*

Электромагнитные сигналы или волны: передача на расстояние довольно абстрактных величин и объектных, как электромагнитная энергия. Напрямую с энергией работать трудно. С точки зрения физики энергия величина интересная, но сложная с точки зрения прикладной науки, поэтому работают с другими величинами. Для электромагнитных колебаний – ***напряжённость электромагнитного поля***. Даже с приёмником и передатчиком бессмысленно говорить об этих величинах, обычно оперирует с ***амплитудой электромагнитных колебаний*** – результат некоторых математических операция над этими величинами. С одной стороны амплитуда напрямую связана с передаваемой энергией, с другой стороны это, например источник видимого света, просто пропорциональна, а иногда и её просто считают равной, яркости. Вернее усреднённая величина амплитуды электромагнитных колебаний равна яркости излучения в той или иной области спектра.

На самом деле:

*Мы говорим о величинах связанных с электромагнитным спектром - понимаем величину удобную для использования передачи сигналов.*

Существует формула волнового уравнения, описывающая распространение любых колебаний, не обязательно электромагнитных в пр-ва:

*(/\*самый общий вид\*/)*

В этой формуле можно абсолютно спокойно заменит cos на sin или на любую их линейную комбинацию. Формула описывает значение электромагнитного поля, учитывая оговорки, в точке пространства в каждый момент времени. На самом деле содержит три свободных параметра, которые являются характеристикой электромагнитного излучения:

– амплитуда электромагнитной волны

– ***частота***

k – ***волновое число*** или ***волновой вектор***. Зависит от размерности пространства.

В трёхмерном случае имеем дело со скалярным произведением двух векторов. Если одномерный случай – волновое число.

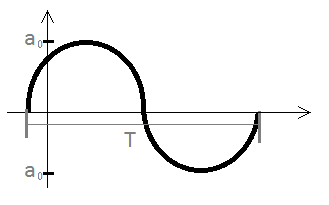
Если рассматривает стационарную систему. Передатчик и приёмник неподвижны. На самом деле это далеко не всегда так, но электромагнитное излучение передвигается со скоростью света по сравнению с этим скорость передвижения приёмника и источника можно пренебречь => можно приёмник и источник считать неподвижными. Тогда в волновом уравнении второе слагаемое можно записать так:

Поскольку k в стационарной системе величина постоянная, которая характеризует конкретную волну, и приёмник и передатчик можно считать неподвижными относительно друг друга, то и величина тоже постоянна. Их произведение тоже обозначают в виде так называемой ***фазы*** электромагнитных колебаний.

– фаза.

Соответственно появляются три величины:

, та же самая – фаза.



Изобразим один период электромагнитных колебаний. Максимальное значение у sin и cos всегда равно 1, соответственно минимально и максимальное значение на этом графике будет . Т.е. таким образом, напряжённость электромагнитного поля в любой точке, в которой достигается электромагнитная волна. В данном случае мы рассматриваем некоторое приближение, при котором, будем считать, что электромагнитная волна во всех точках пространства имеет одинаковую амплитуду.

Любая тригонометрическая функция – периодическая, период равен . Когда слагаемое становиться равным величина периодической функции повторяется. Соответственно этот интервал носит название ***периода***.

Частоту Существует понятие ***линейная частота***, которая просто равна обратному отношению периода – она ровно в раз меньше .

Фаза . В нуле косинусоидальная функция = 1. У нас максимальное значение косинуса смещёно на некоторую величину. Смещение максимума косинусоидальной функции относительно начала и есть ***фаза***. В физике более точно говорят ***фазовый угол***.

Мера измерения: */\*Что в чём измеряется\*/*

Амплитуда = [интенсивность электромагнитного поля]

] – 1/c

Фаза – измеряется в углах (градусы, радианы)

Скорость света [С] = m/c

– ***длинна волны*** – расстояние, через которое повторяется картина, но не во времени, а в пространстве. Т.е. если рассматривать различные точки вдоль оси *х*, отстоящие друг от друга на расстояние равное длины волне, то фазы будут одинаковые, значение амплитуд, можно сказать.

Любую электромагнитную величину можно задать трёмя основными параметрами, естественно произвольно в любой точке. А именно амплитудой, длинной волны и фазой, и соответственно любую величину или их комбинацию можно использовать для представления данных. Т.е. мы можем любые данные, какие мы хотим, представить в виде комбинации этих трёх чисел.

Механизм представления данных в виде параметров электромагнитной волны или электромагнитного излучения носит название ***модуляция***.

*Другими словами: Модуляция – способ кодирования параметрами электромагнитного излучения наших данных.*

Самый простой вариант – данные находятся в виде последовательности чисел, соответственно модуляция - способ представления последовательности чисел в виде последовательностей параметров электромагнитного излучения.

Можно использовать все три числа, как совместно, так и в виде их комбинации.

Выделяют стандартные виды модуляции:

Самый простой вариант, когда используется одно из этих чисел, а два оставшихся считаются постоянными. По крайней мере, представление данных от них не зависит.

1. Когда используем амплитуду – амплитудная модуляция (am (amplitude modulation) на приёмниках)

На заграничных приёмниках был переключатель fm и am. Советские приёмники дополнительно делили амплитудную модуляцию на средние длинные и короткие волны.

Преимущества:

Амплитудная модуляция технически проста: передатчик и приёмник, использующие амплитудную модуляцию для эфирной передачи или передачи по проводам, построить просто. Используется в обычных проводных телефонах при передаче голоса. Идея: В зависимости от силы голоса (её тоже можно охарактеризовать некоторой амплитудой, так как это тоже колебание) меняется электрические параметры микрофона - либо сопротивление либо иногда емкость. Соответственно изменение сопротивления микрофона влияют на силу тока (по закону Ома), сила тока в передатчике влияет на амплитуду электромагнитного сигнала, причём везде прямая пропорциональность. Фактически интенсивность электромагнитного сигнала будет пропорциональна силе голоса. Точно так же в приёмнике на другом конце линии напряжённость электромагнитной волны будет влиять на силу тока в приёмнике. Этот ток мы можем усилить при помощи линейного усилителя и после некоторый дополнительных преобразований получить звуковые колебания.

*Пример*:

***Детекторный приёмник***:

Простейший приемник, может работать без источника питания – использует только то электромагнитное излучение, которое приходит на антенну. Для того, что бы им пользоваться, приёмник должен быть расположен сравнительно не далеко от станции. Связано это с тем, что эфирная электромагнитная волна всегда является в той или иной степени сферической, а напряжённость электромагнитного излучения в сферической волне падает обратно пропорционально квадрату расстояния от передатчика. Т. е. если есть уверенный приём на расстоянии одного километра, то на расстоянии двух километров голос будет слышен в четыре раза слабее. Здесь (в детекторном приёмнике) непосредственно напряжённость электромагнитного поля у приёмника будет пропорционально громкости звука. На расстоянии трёх км громкость упадёт примерно в 10 раз по сравнению с одним км. Основной Недостаток – чем дальше мы находимся от приёмника, тем больший коэффициент усиления нам требуется для того, что бы получить исходный сигнал. А у любого аналоговое устройства есть только небольшой диапазон, в котором он работает линейно – чем больше коэффициент усиления этого аналогового устройства, тем больше оно привносит нелинейных искажений. На том же принципе работают проводные телефоны. Здесь ослабление сигнала связано не со сферичностью волны, а с тем, что любые провода имеет омическое сопротивление. Чем больше сопротивление, тем сильнее ослабляется сигнал (по закону Ома). Чем дальше приёмник отстоит от передатчика в случае амплитудного модулирования (не важно, по проводам или в эфире), тем более слабый получается сигнал, который тем сложнее усилить и тем больше в нём будет помех.

Сейчас даже проводная телефония всё чаще работает с цифровой техникой, но раньше была нецифровая телефонная связь. Расстояния между городами сильно больше расстояний внутри города. Кроме помех в приёмнике и передатчике (технически их можно сделать достаточно низкими) есть линейные помехи (*/\*от термина линия, не связан линейной функцией\*/*). Любые линейные помехи характеризуются тем, что у них есть какая-то своя амплитуда.

Помехи зависят от типа линии и от различных её параметров, в частности температуры. Их характеристическая величина – максимальная амплитуда. Если сигнал в амплитудной модуляции существенно выше значения амплитуды линейных помех, то сигнал можно успешно выделить на фоне этих помех. А если амплитуда сигнала будет уменьшаться, а она будет уменьшаться с увеличением расстояния, то наступит такой момент, когда амплитуда сигнала достигнет максимального значения амплитуды помех. Дальше как не усиливать сигнал – будет слышен только шум, потому что помехи буду усиливаться вместе с сигналом. На самом деле существуют механизмы, уменьшающие помехи, но они основаны не на амплитуде, а на других параметрах, в первую очередь на частоте. Это другой способ.

*Важная вещь:* передача данных с помощью амплитудной модуляции принципиально зависит от расстояния. Существует предельное расстояние, на которое можно будет передать данные. При проводной передаче она линейно зависит от расстояния: обратно пропорционально длине проводов, поскольку по большей части закон Ома линейный. При эфирной передаче амплитуда обратно пропорциональна квадрату расстояний. Эта зависимость сигнала от расстояния принципиальна - ставит крест на передачи цифровых данных с использованием амплитудной модуляции.

Принципиальная разница между цифровыми и аналоговыми данными: Цифровое передаётся в виде последовательности нулей и единиц, Аналоговые – передача голоса или видео - часть данных можно восстановить по имеющимся данным, даже в случае существенных искажений, используя контекст. В цифровом виде, если в какой-то момент амплитуда помех превысит амплитуду исходного сигнала, то нельзя отличить нули и единицы.

Амплитудная исторически самая первая и до сих пор применяется (am радиостанции), но в цифровой технике практически не применялась…

*Пример:*

Напомним, что эфирной передаче интенсивность сигнала падает обратно пропорционально квадрату расстояний. После октябрьской революции в 18-19 гг. построили Волховскую ГЭС – единственная крупная электростанция, питающая Петроград. В 1929 год радиостанция имени Третьего Интернационала под Москвой. В своё время она была самой мощной в Европе, и её сигнал устойчиво принимался до Франции. В Англию уже не так хорошо доходил. Вещала не круглосуточно. Мощность этой электростанции была больше чем вся мощность Волховской ГЭС.

Красивые картинки смотреть тут:

<http://cxem.net/beginner/beginner55.php>

1. ***Частотная модуляция.*** FM (frequency modulation, УКВ -ультракороткие волны) У fm и УКВ диапазоны не совпадают, но методика модуляции одна и та же. Она основана на свойстве: если смешать две электромагнитные волны, у которых частоты различаются на несколько порядков, то их потом их можно легко схемотехнически разделить. Смысл: Если есть волна с большой (несущей или модулируемая) частотой и не очень большой частотой (например, голос - огибающая или модулирующая), то можно получить:

Низкочастотную волну используют непосредственно для представления данных, а низкочастотная эти данные транспортирует на правильное место. Причём модулируется не амплитудой огибающей, а её частотой. На самом деле, если передавать звук с частотной модуляцией, то сначала амплитуда звуковых колебаний преобразуется в частоту огибающей волны. Т.е. частота огибающей плавает, информация спрятана в том, где проходят нули и максимумы огибающей. Отсюда следует преимущество частотной модуляции: на какое расстояние не производилась бы передача, пока можно отделить огибающую волну от несущей – можно получить исходный сигнал. Как бы ни уменьшалась амплитуда, частотные характеристики сохраняются.

Поэтому узкополосные частотные фильтры научились делать очень хорошо. Даже если амплитуда сигнала близка к амплитуде помех, но амплитуда помех распределяется более менее равномерно по всему электромагнитному спектру (так называемый белый шум), в узкочастотных диапазонах, а именно в диапазоне несущей и диапазоне огибающей, мощность шума существенно меньше мощности сигнала, т. е. можно передавать с помощью частотной модуляции либо дальше, чем с помощью амплитудной, либо с большим качеством. Радиостанции, работающие в диапазоне fm более качественные по сравнению с am. Кроме того fm модуляция имеет другие хорошие свойства: автоматическая настройка, автоматическая настройка частоты - при движущемся источнике или приёмнике компенсируется эффект Доплера.

Именно частотная модуляция появилась незадолго до второй мировой войны, в течение её активно развивалась. Все военные передатчики работали с частотной модуляцией. В отличие от амплитудной модуляции, которая требует для передачи информации мегаваттом и массивных антенн, частотная модуляция требует гораздо меньше энергии.

Недостатки частотной модуляции:

Используется очень высокочастотная передача. Электромагнитная волна может огибать препятствия, которые меньше или сравнимы с длинной её волны. Связано это с тонкими эффектами интерференции на границе волн с препятствиями. Амплитудная модуляция использует волны с длинной волны от нескольких десятков метров до километра. Размер антенны передатчика сравним с длинной её волны.

*Пример:*

В мобильном телефоне длина волны порядка см.

В fm модуляции используются дециметровые и метровые волны, т. е. они могут огибать, только совсем не большие препятствия. Поэтому можно сказать, что они ведут себя уже практически как свет. Поэтому, что бы использовать ультракороткую волновую модуляцию нужно находиться на расстоянии прямой видимости, т.е. порядка десятков километров. Проблему решает радиорелейная передача, но этого мы не касаемся.

При использовании кабельной связи проблема прямой видимости не возникает: прямая видимость – ровно до туда, докуда кабель дотянут.

Дополнение:

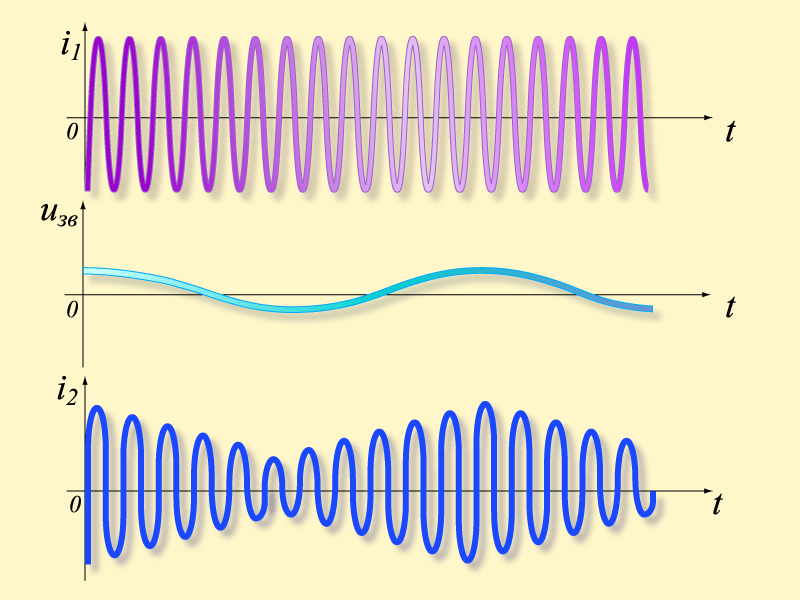
Амплитудная:

Частотная:

Фазовая:

Голосовая функция имеет две величины громкость и частота. Используя частотную модуляцию, мы оба параметра запихиваем в один. И это и есть искусство.

Любое гармоническое колебание можно разложить в ряд Фурье. И у него есть спектральная характеристика.



Меняется и амплитуда и частота. По ней можно построить амплитудную характеристику – зависимость мощность от частоты. 8.

1. ***Фазовая модуляция.***

В качестве источника данных используем начальный фазовый угол. Начало отсчёта надо выбрать, но его нет в природе - только в мозгу. Значение, получается, зависит от выбора производной величины. При фазовой модуляции в расчёт берётся фаза между двумя соседними сигналами. Её применяют в там, где можно выбрать понятие сигнала – отдельного.

Цифровая передача данных.

Фазовое пространство – ось либо амплитудная, либо частотная. Цифровой сигнал - сигнал, сигнальное пространство которого имеет конечную мощность, т. е. множество значений величин конечно. Соответственно, если это множество конечно, то сигнал не может быль непрерывным, за исключением постоянного сигнала, но тогда не происходит передача сигнала. Тут можно говорить о разности фаз цифрового сигнала. Используется либо частотная, либо частотно-фазовая модуляция… Бывает ещё импульсная и широко-импульсная - это разновидности частотно-фазовой модуляции.