**Расширение-сужение спектра.**

**Расширение спектра.**

Изначально методы расширенного спектра (spread-spectrum — SS) применялись при разработке военных систем управления и связи. К концу второй мировой войны в радиолокации расширение спектра применялось для борьбы с преднамеренными помехами [1], а в последующие годы развитие данной технологии объяснялось желанием создать помехоустойчивые системы связи. В процессе исследований расширенному спектру нашлось и другое применение — снижение плотности энергии, высокоточная локация и использование при множественном доступе. Все эти практические приложения расширенного спектра будут рассмотрены в данной главе. Методы расширенного спектра получили свое название благодаря тому, что полоса, используемая для передачи сигнала, намного шире минимальной, необходимой для передачи данных. Система связи называется системой с расширенным спектром в следующих случаях.

1. Используемая полоса значительно шире минимальной, необходимой для передачи данных.

2. Расширение спектра производится с помощью так называемого расширяющего (или кодового) сигнала, который не зависит от передаваемой информации. Подробное описание таких сигналов приводится в последующих разделах главы.

3. Восстановление исходных данных приемником ("сужение спектра") осуществляется путем сопоставления полученного сигнала и синхронизированной копии расширяющего сигнала.

Следует отметить, что расширение спектра сигнала также происходит при использовании некоторых стандартных схем модуляции, таких как частотная и импульсно-кодовая модуляция. Однако эти схемы не относятся к методам расширенного спектра, поскольку не удовлетворяют всем приведенным выше условиям.

По определению белый гауссов шум — это математическая модель шума бесконечно большой мощности, равномерно распределенного по всему спектру частот. Наличие такого шума не обязательно означает отсутствие эффективной связи, поскольку интерферировать с сигналом могут лишь шумовые составляющие ограниченной мощности, находящиеся в сигнальном пространстве (другими словами, имеющие те же координаты, что и компоненты сигнала). Прочие составляющие эффективно отсеиваются детектором. Для типичного узкополосного сигнала это означает, что характеристики связи ухудшают только шумы, находящиеся в диапазоне сигнала. Поскольку изначально методы расширенного спектра разрабатывались для военных систем связи, работающих при повышенном уровне помех, создаваемых противником, вначале будет рассмотрена помехоустойчивость данных методов.

Методы расширенного спектра применяются в системах связи множественного доступа для управления совместным использованием ресурса связи большим числом пользователей. Данный метод называется множественным доступом с кодовым разделением (code-division multiple access — CDMA); его краткое описание приведено в главе 11. Одной из особенностей CDMA является сохранение конфиденциальности связи между пользователями, имеющими разные сигналы расширенного спектра. Отслеживание сеанса связи будет непростой задачей для пользователя, не имеющего доступа к определенному сигналу. Более подробно данный вопрос будет рассмотрен позже.

На рисунке (методы расширения спектра) отмечены распространенные методы расширения информационного сигнала на большее число координат диапазона. Для сигнала с длительностью Т и шириной полосы W размерность пространства сигналов приблизительно равна 2WT. Размерность диапазона можно повысить за счет увеличения W (расширение спектра) или Т (расширение временного диапазона или переключение временных интервалов). При расширении спектра сигнал расширяется в частотной области. При переключении временных интервалов сообщению, передаваемому со скоростью R, выделяется более длительное время, чем необходимо для передачи данных с помощью обычного метода модуляции. В течение этого времени данные передаются отдельными пакетами согласно требованиям кода. Можно сказать, что при переключении временных интервалов сигнал расширяется во временной области. В обоих случаях создание преднамеренных помех будет осложнено тем, что область, используемая сигналом в каждый момент времени, будет неопределенной.

Первые два метода, указанные в разделе "расширение спектра" на рис. 12.4, — метод прямой последовательности (direct sequencing — DS) и метод скачкообразной перестройки частоты (frequency hopping — FH) — являются наиболее распространенными. Третий метод, переключение временных интервалов (time hopping — ТН), используется при наличии преднамеренных помех, поскольку он позволяет скрывать координаты сигнала от потенциального противника. Кроме того, существуют смешанные методы, такие как DS/FH, FH/TH или DS/FH/TH. Поскольку эти методы — просто развитие основных, детально они рассматриваться не будут. В данной главе основное внимание обращается на два основных метода расширения спектра: прямой последовательности и скачкообразной перестройки частоты.

В течение первых нескольких лет исследования систем расширенного спектра синхронизация работы приемника и передатчика производилась с помощью истинно случайного расширяющего сигнала (например, широкополосного шума). Такие устройства получили название систем связи с передачей опорного сигнала (transmitted reference — TR). В системах TR передатчик отправляет две версии непредсказуемых широкополосных несущих, одна из которых модулируется данными, а другая остается немодулированной. Указанные два сигнала передаются по разным каналам. Приемник использует немодулированную несущую для сужения несущей, модулированной данными. Основное преимущество систем TR — отсутствие серьезных проблем синхронизации в приемнике, поскольку оба сигнала передаются одновременно. Существенные недостатки TR заключаются в следующем: (1) расширяющий код отправляется незашифрованным, потому доступен для прослушивания; (2) в систему легко внедрить чужеродную информацию, если послать пару сигналов, приемлемых с точки зрения приемника; (3) наличие шумов в обоих сигналах приводит к росту вероятности ошибки при низкой мощности сигнала; (4) для передачи опорного сигнала требуется удвоить ширину полосы и мощность сигнала.

Все современные системы расширенного спектра построены с использованием метода хранения опорного сигнала (stored reference — SR). В этом случае опорный сигнал независимо генерируется приемником и передатчиком. Основным преимуществом систем SR является то, что при правильном выборе кода сигнал не может быть определен путем прослушивания. Нужно отметить, что кодовый сигнал системы SR, сходный по характеристикам с белым шумом, не может быть истинно случайным, как в случае системы TR. Поскольку один и тот же код должен быть независимо сгенерирован двумя или более пользователями, последовательность кода должна быть детерминированной (хотя для "неуполномоченных слушателей" она может казаться случайной). Такая последовательность детерминированных сигналов называется псевдошумовой (pseudonoise — PN), или же псевдослучайной (pseudorandom) последовательностью. Более подробно генерирование псевдослучайных последовательностей будет рассмотрено позже.

**Сужение спектра.**

Сужение спектра частот необходимо по многим причинам. Во-первых, обеспечить широкую полосу пропускания всего тракта радиосвязи или радиовещания технически очень трудно. Во-вторых, при современном уровне развития техники много радиопередатчиков работают одновременно. Каждому из них должна быть отведена определенная полоса частот. В диапазоне средних и даже промежуточных волн имеется мало частот, и передатчикам в этих диапазонах тесно. И, наконец, в-третьих, сужение полосы пропускания радиотелефонной аппаратуры до 9 - 10 кГц внесет вполне допустимые искажения. Амплитудная модуляция осуществляется в одном из промежуточных каскадов передатчика. В схеме возбудителя амплитудную модуляцию не осуществляют, так как при этом снижается стабильность частоты передатчика.

Всякое ограничение, сужение спектра ( например, при пропускании сигнала через фильтр) увеличивает корреляцию.

Для перестройки и сужения спектра генерации в лазерах на красителях используются дисперсионные светофильтры и призмы, интерферометры Фабри - Перо, дифракционные решетки, а также селективные элементы, работающие на принципе распределенной обратной связи. В РОС-лазерах обратная связь осуществляется за счет брэгговского отражения излучения от периодической структуры, возникающей в активной среде в результате модуляции ее показателя преломления.

Получение более узких линий достигается за счет комбинации нескольких селекторов и сопряжено со значительными потерями выходной мощности.

Таким образом, для сужения спектра времени пребывания частиц в спевдоожиженном слое следует задержать их внедрение в слой. Это может быть осуществлено путем увеличения отношения высоты слоя к его диаметру ( если ввод и вывод материала осуществляются на противоположных концах слоя), размещения в слое вставок, затрудняющих перемещение твердого материала от точки ввода к точке вывода. Наконец, к сужению спектра приводит секционирование аппарата ( см. рис. VI-16, б), обеспечивающее движение материала из секции в секцию только в направлении от входа к выходу

Восстановление исходных данных приемником ( *сужение спектра*) осуществляется путем сопоставления полученного сигнала и синхронизированной копии расширяющего сигнала.  [[16]](https://www.ngpedia.ru/pg1969980RyHSfDd0016492190)

Позднее [117] сообщалось, что *эффективное сужение спектра* и непрерывное изменение длины волны в пределах, сравниваемых с получаемыми в обычных лазерах, было осуществлено в лазерах на красителях с помощью дифракционных решеток в качестве рефлекторов в кювете. Этот эффект был продемонстрирован на ксантеновых и карбоци-аниновых красителях; могут быть использованы также твердые растворы красителей в полиметилметакрилате.

При выборе той или иной системы телевидения для вещания, первостепенное значение имеют вопросы сужения спектра телевизионного сигнала и совместимости систем черно-белого и цветного телевидения.

При реализации идей теории информации, связанных с повышением эффективности связи, по отношению к речевой передаче возникают возможности сужения спектра частот, сокращения времени передачи и повышения отношения сигнал / помеха в месте приема. Эти возможности могут быть осуществлены при различных изменениях исходного речевого сигнала - могут потребоваться как частотные, так и временные трансформации сигнала, причем они, оказываются достаточно сложными. Технике, оперирующей с подобными трансформациями, принадлежит большое будущее, однако сегодня она делает лишь первые шаги. Преобразования же речевого сигнала при неизменной или почти неизменной полосе частот, сохранении естественной длительности и структуры речевой передачи осуществляются значительно проще и приносят существенный эффект. Такое преобразование может всегда применяться в имеющих особо широкое применение оперативных речевых радиолиниях, причем оно может быть с равным успехом внедрено и на существующих, и на новых радиолиниях, позволяя осуществлять совместную работу этих линий, связанную со взаимозаменяемостью аппаратуры. Поэтому основное содержание настоящей книги составляют такие преобразования речевого сигнала, которые производятся при неизменной длительности его за счет улучшения отношения сигнал / помеха и небольшой вариации его частотных свойств, не затрагивая их радикально

сужение спектра при AT создает предпосылки для уменьшения полосы пропускания приемного устройства, что в сочетании с работой ламп передатчика в максимальном режиме заметно увеличивает помехозащищенность радиолинии по сравнению с помехозащищенностью при работе радиотелефоном, а следовательно, и повышает дальность радиосвязи