

ОТЧЕТ МСЭ-R F.2061

Системы фиксированной ВЧ радиосвязи

(2006)

1 Введение

Излучающие ВЧ системы могут характеризоваться как адаптивные и неадаптивные. В неадаптивных системах оценка переменных распространения и помех с целью нахождения свободного и надежного канала зависит от уровня подготовки и навыков оператора. В адаптивных системах этот процесс автоматизирован. Хотя у адаптивных систем имеется множество преимуществ, включая менее высокие требования к подготовке оператора, в обозримом будущем неадаптивные системы по-прежнему будут использоваться. Имеется возможность возникновения помех между этими двумя типами систем. Чтобы провести точный анализ электромагнитной совместимости в конкретной среде, для характеристик излучения адаптивных и неадаптивных систем требуются отдельные наборы технических данных.

Современная связь в ВЧ полосе также имеет особые атрибуты, которые обеспечивают эффективное решение для удовлетворения многих потребностей в области реагирования в чрезвычайных ситуациях. ВЧ системы и сети обеспечивают весьма универсальные средства связи для широкого круга пользователей, участвующих в работе по защите населения и в гуманитарных операциях. Такие системы также могут обеспечить доставку недорогого и надежного оборудования в отдаленные и малонаселенные области.

В случае если стихийные бедствия (например, землетрясения) и другие чрезвычайные ситуации приводят к нарушению обычного функционирования электросвязи, на первом этапе предупреждения об опасности или во время координации операций по оказанию помощи СЧ/ВЧ системы можно было бы установить за очень короткое время для обеспечения необходимых аварийных линий.

2 Неадаптивные системы**2.1 Введение**

При ручном неадаптивном управлении оператор должен настроить параметры систем для обеспечения максимальной эффективности с помощью мониторинга условий в ионосфере, отслеживания изменяющихся условий распространения и выбора условий работы (т. е. в первую очередь частоты), которые обеспечат оптимальное распространение сигнала.

В краткосрочном плане среда ВЧ распространения является в высшей степени неустойчивой и непредсказуемой. Распространение в этой полосе происходит, главным образом, посредством ионосферной волны с использованием рефракции радиоволн от ионосферы или, в некоторых случаях, посредством поверхностной волны.

2.2 Распространение

Ионосфера и распространение радиоволн в ионосфере описываются в справочнике МСЭ-R "Ионосфера и ее воздействие на распространение радиоволн" и в соответствующих Рекомендациях МСЭ-R серии Р (МСЭ-R Р.368, МСЭ-R Р.369, МСЭ-R Р.371, МСЭ-R Р.434, МСЭ-R Р.531, МСЭ-R Р.532, МСЭ-R Р.533, МСЭ-R Р.534, МСЭ-R Р.535). Некоторую дополнительную информацию можно получить в справочниках МСЭ-R "Структура ВЧ радиовещательных систем" и "Частотно-адаптивные системы и сети связи в СЧ/ВЧ полосах частот".

Говоря кратко, ионосфера формируется в верхних слоях атмосферы Земли на высоте более примерно 80 км за счет воздействия ионизирующего солнечного излучения. Высота и плотность ионизации зависят от приходящего излучения, состава атмосферы и его изменения с увеличением высоты и т. д.

в зависимости от других показателей магнитного поля Земли и перемещения верхних слоев атмосферы. Сила приходящего солнечного излучения, как правило, зависит от цикла солнечной активности, продолжительность которого составляет примерно 11 лет, что видно, например, по числу пятен на поверхности Солнца.

Приходящее излучение ионизирует часть газов в верхних слоях атмосферы и приводит к освобождению электронов, образующих ионосферу, одним из свойств которой является преломление и отражение радиоволн. Время жизни свободных электронов до их рекомбинирования в нижних слоях ионосферы ограничено, поэтому плотность ионизации меняется приблизительно в соответствии с углом места солнца. Эти нижние участки ионосферы называются областями или уровнями D и E. Выше в ионосфере, в области F, время жизни электронов увеличивается и плотность ионизации также сильно зависит от ветра и наличия магнитного поля Земли.

Максимальная частота, которая может быть вертикально отражена от ионосферного уровня, зависит от плотности ионизации и называется критической частотой. Плотность ионизации и, следовательно, критическая частота зависят от географического местоположения и высоты солнца и меняются в зависимости от времени суток, дня и времени года из-за изменений солнечного излучения, состояния среды распространения от Солнца до Земли, ветра в верхних слоях атмосферы и магнитного поля Земли. Нижние области ионосферы, кроме того, ослабляют радиосигналы, а взаимодействие сигнала с магнитным полем Земли меняет также его поляризацию.

Наземное распространение можно рассматривать как наклонное отражение от уровней ионосферы, а дополнительные режимы распространения могут состоять из нескольких отражений сигнала от ионосферы и от поверхности Земли. Максимальная частота распространения для каждого режима зависит от критической частоты и от угла места отражающего слоя. Таким образом, как правило, принимаемый сигнал будет включать сигналы с несколькими режимами распространения, причем мощность, время прибытия и поляризация каждого из этих сигналов различны и непостоянны.

Эти долговременные, зависящие от времени суток, дня, времени года и цикла солнечной активности изменения условий распространения могут быть спрогнозированы на основании статистических данных. Методы прогнозирования описаны в Рекомендации МСЭ-R P.533, и существует множество других методов.

Эти методы долгосрочного прогнозирования не могут дать точную оценку наилучшей частоты, которую следует использовать на данной радиотрассе в конкретный день и время суток. Как правило, используется частота чуть ниже предсказанной максимальной применимой частоты (MUF), для того чтобы гарантировать удовлетворительный прием сигнала в течение большинства дней месяца. Для того чтобы поддерживать приемлемое качество связи, на каждый месяц составляется расписание изменений частоты в течение суток. Оператор радиосвязи, управляющий работой канала связи, используя расписания частот, а также опираясь на свой опыт и учитывая реальные условия дня, выбирает наилучшую частоту из ограниченного набора частот, таким образом регулировка работы канала может выполняться ежеминутно.

Долгосрочное прогнозирование также дает информацию об активных режимах распространения и требуемых углах места излучения антенн.

Режим распространения наземной волны является стабильным и предсказуемым. Он описывается в Рекомендации МСЭ-R P.368, а метод прогнозирования представлен в [программном обеспечении на веб-сайте МСЭ-R](#). В диапазоне ВЧ этот режим действителен только на расстоянии в несколько сотен километров по морю и на значительно более коротких расстояниях по суше, в нижнем участке диапазона частот. Тем не менее при определенных условиях этот режим может быть весьма важен.

Работа канала зависит от этих режимов распространения, долговременных изменений состояния ионосферы, интенсивности и поляризации замираний. Однако существуют и другие кратковременные и в основном непредсказуемые факторы, которые имеют большое значение.

В нижней части ионосферы, на высоте примерно 100 км, может возникать дополнительная ионизация, которую невозможно точно предсказать, причинами ее появления являются погодные факторы и микропримеси, а также другие механизмы, действующие как в высоких, так и в экваториальных широтах. Эта "спорадическая-E" ионизация может оказывать наибольшее влияние на распространение радиоволн и может образовывать дополнительный режим распространения.

Значительное влияние оказывает также приходящее излучение, создаваемое извержениями на солнечной поверхности, которые часто наблюдаются в виде солнечных вспышек, в результате чего образуются ультрафиолетовые и X-лучи, частицы с большими зарядами и плазма из среднезаряженных частиц, которые в потоках солнечного ветра могут перемещаться от поверхности Солнца и достигать Земли. Когда такое излучение достигает окрестностей Земли, оно непосредственно создает дополнительную ионизацию. Оно также взаимодействует с магнитным полем Земли, приводя к концентрации ионизации в полярных регионах, изменению температуры нейтральных газов в верхних слоях атмосферы, изменению системы ветров и распределению ионизации. Такие события называют геомагнитными и ионосферными бурями, и они могут оказывать существенное влияние на распространение ВЧ радиоволн. Их нельзя спрогнозировать заранее, а их влияние невозможно точно предсказать даже за несколько часов. Квалификация оператора канала связи может помочь ему поддерживать в некоторой степени непрерывную работу во время бури, но он вынужден будет работать по методу проб и ошибок, поскольку опыт работы в таких условиях довольно ограничен. Одним из ценных методов работы в высоких широтах, где влияние бурь максимально, является применение различных маршрутов передачи с использованием альтернативных маршрутов передачи радиосигнала, с тем чтобы избежать наиболее затрагиваемых районов, но для этого требуется оперативно получать имеющуюся на сетевом уровне информацию.

От современной ВЧ связи сегодня требуется обеспечивать повышенные скорости передачи данных и работу систем с большей шириной полосы. Работа таких систем будет зависеть от разброса значений задержек многолучевого распространения для режимов распространения сигнала, задействованных в это время, причем этот разброс вызван распространением за счет отражений сигнала от различных слоев ионосферы и т. п. Кроме того, под действием атмосферных ветров ионизация перемещается, поэтому вследствие эффекта Доплера каждый режим будет приводить к различным сдвигам по частоте. На экваториальных широтах, вблизи магнитного экватора, ионосферные слои после захода солнца могут нарушаться, в результате чего создается диффузная область, от которой рассеиваются сигналы с большим разбросом по времени и частоте. На высоких широтах ионосферные слои могут быть нарушены под действием ионосферных бурь, что опять приводит к рассеянию сигналов с большим разбросом по времени и частоте.

Для тех систем, в которых применяется распространение наземной волны и не требуется дальнейшей связи через ионосферу, должны выбираться частоты, на которых используются преимущества условий распространения с целью ограничения нежелательного распространения. Средствами для достижения этой цели является выбор в светлое время суток частот ниже минимальной применимой частоты (LUF) для доступных режимов распространения, а в темное время суток – частот выше MUF для длительных маршрутов с применяемыми антеннами. Отметим, что LUF зависит от цикла солнечной активности и увеличивается с повышением индекса цикла. В тропических регионах следует проявлять осторожность при использовании в ночное время частот выше MUF, поскольку может активизироваться режим дальнейшей "хордовой" связи или трансэкваториального распространения. Для работы в адаптивном режиме передатчики и приемники также должны быть широкополосными или иметь возможность быстрой перестройки по всему диапазону частот.

3 Адаптивные системы

3.1 Введение

Адаптивная СЧ/ВЧ система – это система, которая автоматически (т. е. не требуя вмешательства радиооператора) осуществляет функции установления каналов радиосвязи и обмена информацией, позволяя справиться с колебаниями и высокой вероятностью помех, которые присущи распространению в СЧ/ВЧ полосах частот в ионосфере. Кроме того, адаптивные системы способны на регулярной основе контролировать занятость спектра и выбирать рабочие частоты, с тем чтобы более эффективно, чем многие действующие в настоящее время неадаптивные системы, избегать причинения помех другим пользователям.

3.2 Эксплуатационные характеристики

Наиболее привлекательными свойствами адаптивных СЧ и ВЧ систем являются:

- *Менее высокий уровень подготовки оператора:* адаптивные системы будут устанавливать, удерживать и разрывать канал СЧ и ВЧ связи без технического вмешательства оператора. Эта возможность существенно снижает необходимость привлечения высококвалифицированного персонала для радиосвязи.
- *Повышенная надежность:* процент времени, в течение которого адаптивные системы будут обеспечивать высококачественную связь, намного выше, чем для традиционных систем с фиксированной установкой частоты. Это обеспечивается за счет использования адаптивного выбора частоты, автоматического повторения передачи по запросу (ARQ) и адаптивного выбора наиболее подходящих сигналов модуляции.
- *Гибкость:* адаптивная система непрерывно анализирует и обновляет информацию о качестве канала связи, позволяя тем самым в каждый конкретный момент времени выбирать наиболее подходящую частоту для передачи трафика. Такой адаптивный режим работы минимизирует периоды времени, когда станция не в состоянии вести передачу, а также увеличивает возможности для использования маломощных станций, как в фиксированной, так и в подвижной службах.

На протяжении десятилетий СЧ и ВЧ радиосвязь используется для связи на дальние расстояния. СЧ и ВЧ радиосвязь имеет ряд положительных характеристик, которые можно еще расширить, – и недостатков, которые можно минимизировать – за счет применения автоматических и адаптивных методов. Положительные моменты связи в диапазоне ВЧ заключаются в том, что это экономически эффективная передача на дальние расстояния. Отрицательные аспекты включают в себя: трудоемкость эксплуатации, переменчивые условия распространения сигнала, в целом невысокая надежность и ограниченная ширина полосы для передачи данных. Для связи в диапазоне ВЧ радиочастот необходимо оптимизировать условия так, чтобы эта связь стала достаточно надежной. Надежность ВЧ радиопередачи зависит от множества факторов, в частности:

- рабочей частоты;
 - а) степени ионизации ионосферы и ее распределения;
 - б) расстояния между станциями (число пролетов);
- рабочей мощности;
- модуляции;
- требований к отношению сигнал/шум;
- процедур передачи дополнительных сигналов (т. е. проверка ошибок, входение в связь и т. д.).

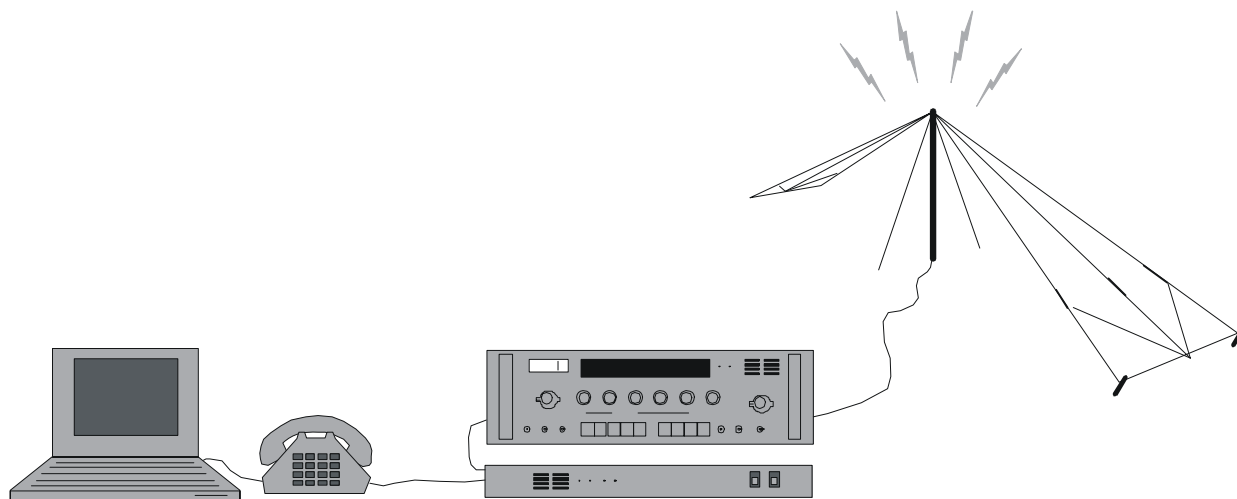
При ручном управлении, которое до недавнего времени использовалось для оптимизации параметров ВЧ радиосвязи, для получения максимального качества оператор должен регулировать параметры системы, контролируя состояние ионосферы, отслеживая изменения условий распространения и выбирая параметры работы (т. е. в первую очередь частоту), которые обеспечат наилучшее распространение сигнала. В связи с трудоемкостью такой работы и высокими требованиями к опыту и квалификации оператора, введение автоматизации и применение адаптивных методов в ВЧ и СЧ радиосвязи вполне оправданы. В настоящее время автоматизация снизила нагрузку на оператора за счет добавления подсистем регулирования частоты, установления соединения, удержания канала связи и т. п. Эти методы могут применяться для снижения спроса на высококвалифицированный персонал и должностных требований к оператору или технику радиосвязи. Как правило, автоматизация может добавляться для того, чтобы радио работало в режиме "нажми кнопку и говори по наилучшему каналу", но на самом деле радио – это многоканальное устройство связи, выполняющее множество основных функций.

3.2.1 Общее описание

Ниже описывается общий набор функций, включаемых в большинство разрабатываемых систем различных типов. В этом контексте термин "общий" не обязательно означает, что эти функции реализованы одинаково и, следовательно, позволяют осуществлять взаимную связь. Он лишь подчеркивает, что реализуется функция одного типа. Более подробное описание содержится в Рекомендации МСЭ-R F.1110 – Адаптивные радиосистемы для частот ниже примерно 30 МГц.

Адаптивная станция, определяемая здесь как станция, способная предоставить оператору канал радиосвязи, состоит из следующих элементов.

РИСУНОК 1
Типовая адаптивная станция



Rap 2061-01

Основными функциями контроллера в адаптивной системе являются управление использованием частот и оценка качества канала связи, подготовка и установление канала связи, удержание канала и его рассоединение.

3.2.2 Управление использованием частот и оценка качества канала связи

Все частоты, которые потенциально доступны для использования в конкретном канале связи, записаны системой в перечне частот. Некоторые адаптивные системы могут работать с различными частотами приемника и передатчика, другие могут использовать одну и ту же частоту и для приема, и для передачи. В некоторых адаптивных системах используется автоматическое распределение каналов, при котором подгруппа имеющихся частот хранится в перечне частот для вызова, при этом оставшиеся частоты используются только для передачи трафика; выбор частот для передачи трафика для канала связи координируется с использованием частот вызова. Как правило, в перечне частот записано от пяти до десяти частот, но некоторые адаптивные системы способны сохранять и использовать до нескольких сотен частот.

Когда трафик не передается, станция будет сканировать частоты перечня, задерживаясь на каждой из них в течение определенного периода времени, достаточно продолжительного для обнаружения входящего вызова. Некоторые системы будут одновременно выполнять пассивный анализ канала, измеряя на каждой частоте уровень помех или шумов.

После рассоединения канала связи информация об оценке качества канала сохраняется. Эта информация используется для выбора пригодных частот для передачи трафика между станциями в сети. Если внутри сети передается небольшой объем трафика, то для оценки качества канала связи может быть активирована функция автоматического зондирования. С определенными регулярными интервалами станция будет передавать специальный зондирующий сигнал на каждой частоте из перечня частот. Все другие станции в сети, принявшие этот зондирующий сигнал, будут вносить изменения в свою таблицу оценок качества канала связи.

3.2.3 Зондирование

Зондирующий сигнал представляет собой однонаправленную, одностороннюю передачу, осуществляемую с регулярными интервалами на незанятых каналах. Для его реализации к контроллеру добавлено синхронизирующее устройство с целью периодического включения

зондирующих сигналов (если канал свободен). Зондирование не является интерактивным, двусторонним методом, таким как последовательный опрос. Однако определение возможности установления соединений от станции путем прослушивания ее зондирующих сигналов указывает на высокую степень вероятности (но не гарантирует) возможности установления двусторонних соединений и может осуществляться пассивно на приемнике. Как минимум, информация о сигнале (адресе) выводится на экране оператору, и в случае станций, которые оборудованы запоминающими устройствами, обеспечивающими возможность установления соединений и оценку качества канала связи (LQA), эта информация хранится и позднее используется для установления связи. Если со станции недавно осуществлены передачи на любых каналах, которые должны зондироваться, может не понадобиться вновь зондировать эти каналы до окончания интервала зондирования, который вновь начинается после этой последней передачи. Кроме того, если осуществляется последовательный опрос сети (или группы) станций, полученные от них ответы могут послужить зондирующими сигналами для другой сети (или группы) приемных станций. Все станции могут иметь возможность проводить регулярное зондирование на свободных предварительно размещенных каналах. Возможность зондирования может быть выборочно активирована оператором или контроллером в соответствии с требованиями системы.

По мере возможности и если нет других поручений или указаний от контроллера оператора, станции автоматически и на определенное время выводят адреса всех слышимых станций, оповещая об этом операторов на выборочной основе.

Структура зондирования похожа на структуру основного вызова; однако необходимо только направить идентификационные данные передающей станции. При асинхронном режиме зондирования в системах ALE (автоматической установки канала) как 2-го поколения (2G), так и 3-го поколения (3G) применяется расширенная передача для обеспечения того, чтобы сканирующие приемники задерживались на активных каналах как минимум один раз в ходе передачи. Зондирование не является обязательным в системах ALE 3G с синхронным режимом; при необходимости продолжительность зондирующей передачи при синхронной ALE 3G составляет менее одной секунды.

3.2.4 Подготовка и установление канала связи

Канал связи устанавливается либо с помощью обычного телефона и сетей передачи данных, либо через терминал оператора. Когда станция получит команду установить связь, она выберет предполагаемую наиболее подходящую частоту из перечня частот. Приемник настраивается на эту частоту, и контроллер будет измерять энергетический уровень на этой частоте. Если энергетический уровень превышает некоторый заданный порог, эта частота считается занятой другим пользователем и отбрасывается. Контроллер будет проверять вторую наилучшую частоту. Если пригодную частоту подобрать невозможно, оператору передается сообщение "неудачно". В противном случае будет передан сигнал вызова.

Когда вызываемая станция обнаруживает вызов, она автоматически отвечает и уведомляет о вызове своего оператора. Вызывающая станция подтверждает прием ответа, после чего сообщение может быть передано или же канал может быть предоставлен операторам для голосовой связи.

3.2.4.1 Системы ALE 2G

В том что касается случаев многих станций и выбора наилучшей частоты в сетях многих базовых станций, как правило, система выбирает пару наилучших частот/базовых станций для каждого канала связи для узла подвижной связи. Существуют два подхода: выбирает вызывающая сторона и выбирает отвечающая сторона.

В первом случае, если вызов исходит от узла подвижной связи, система будет сверяться со своей местной базой данных измерений и ранжировать пары канал/станция. Затем вызовы передаются конкретным станциям на конкретных частотах в убывающем порядке такого ранжирования до успешного установления связи. Когда вызов происходит со стороны фиксированной связи, используется объединенная база данных для маршрутизации вызовов на узел подвижной связи через базовую станцию с наилучшими каналами для этого узла подвижной связи.

Во втором случае узел подвижной связи адресует свой вызов сети в целом и базовые станции сравнивают качество полученных сигналов, чтобы решить, который из них подходит.

В случае связи из пункта в пункт нет выбора в отношении станции, которой направлять вызов, и частоты просто ранжируются для попыток установления связи.

Нельзя гарантировать, что в каждом случае используется наилучшая частота. Для установления порядка, в котором подбираются каналы, применяются последние измерения, но то, какой канал используется фактически, определяется условиями распространения, занятостью канала и помехами. Система пытается связать наилучшие частоты, но принимает самую первую частоту, которая работает.

В том что касается эффективности доступа к каналу связи, система ALE 2G перед передачей осуществляет прослушивание. Поскольку сеть ALE 2G перегружена, ее пропускная способность ограничивается уровнем насыщения, а не падает по мере добавления нагрузки.

В системах используются различные алгоритмы для ранжирования каналов с целью размещения вызовов ALE. Как правило, отыскивается подходящий канал. Хотя подходящий канал может и не быть наилучшим каналом.

3.2.4.2 Системы ALE 3G

Системы ALE 3G разработаны специально для того, чтобы работать в условиях интенсивного трафика, и представляют собой усовершенствованный вариант систем ALE 2G в плане эффективного использования спектра. В них используется протокол синхронного сегментированного доступа к каналу с отдельными каналами вызова и трафика. Отдельные каналы трафика могут использоваться с пропускной способностью, приближающейся к 100% емкости, тогда как использование каналов вызова колеблется в зависимости от вида применения, но, как правило, ниже, чем у каналов трафика. Поскольку в службах сотовой радиосвязи и радиосвязи с автоматическим перераспределением каналов требуется меньше каналов для установления соединений, чем каналов трафика, эффективность режима радиосвязи с автоматическим перераспределением каналов выше, когда вызов и трафик комбинируются на одних и тех же частотах.

В том что касается выбора лучшего канала в ALE 3G, установление соединений завершается на первом работающем вызывающем канале в установке синхронного сканирования. Затем трафик передается на частоте, которая согласовывается участниками во время установления соединения, не обязательно в той же полосе, которая соответствует каналу установления соединения. Во время передачи трафика при удержании канала ALE 3G частота может периодически переоцениваться и изменяться для поддержания надлежащих показателей работы.

3.2.4.3 Скорость сканирования

3.2.4.3.1 Система ALE 2G

Типичные скорости сканирования составляют от двух до десяти каналов в секунду (время процесса 100–500 мс на канал). Возможны более высокие скорости сканирования. Приемники, которые обнаруживают сигнализацию ALE 2G, увеличат время процесса до 784 мс на канал, пытаясь при этом обеспечить синхронизацию с входящим сигналом.

3.2.4.3.2 Система ALE 3G

Автоматическое перераспределение каналов является факультативной характеристикой систем ALE 3G. Системы ALE 3G, когда они не включены в какой-либо из протоколов ALE 2G или ALE 3G, постоянно сканируют присвоенные каналы вызова, прослушивая вызовы ALE 2G и ALE 3G. Они сохраняют режим сканирования при вызове или установлении вызова.

Приемники ALE 3G с синхронным режимом осуществляют сканирование на синхронизированной скорости 1,35 или 5,4 с/канал. Администратор сети может распределить станции по группам, осуществляющим процесс. Во время каждого периода осуществления процесса каждая группа, осуществляющая процесс, прослушивает на различных каналах в соответствии со следующей формулой:

$$D = ((T / 5,4) + G) \bmod C,$$

где:

- D: номер канала, в отношении которого осуществляется процесс
- T: количество секунд после полуночи (сетевое время)
- G: номер группы, осуществляющей процесс
- C: количество каналов в списке для сканирования.

Отметим, что это дает в результате номера каналов в диапазоне от 0 до C-1.

Системы ALE 3G, в которых используется асинхронный режим ALE 3G, сканируют присвоенные каналы вызова со скоростью не менее 1,5 каналов/с. Для скоростей сканирования 10 каналов/с соответствующий период осуществления процесса продолжительностью 100 мс может быть при необходимости продлен до 667 мс во время оценки принимаемых сигналов. Если в течение 667 мс начальная часть импульса ALE 3G не установлена, система может возобновить сканирование. Системы ALE 3G включают механизмы для поддержания синхронизации между осями времени всех станций в сети. Когда ALE 3G функционирует в синхронном режиме, разница между самым ранним и самым поздним временем между станциями не должна превышать 50 мс. В асинхронных сетях допустимый диапазон сетевого времени определяется существующим уровнем защиты каналов связи, если таковая имеется.

Средства внешней синхронизации используются для установления местного времени на основе таких источников, как Глобальная система позиционирования (GPS) и приемник ГЛОНАСС. Сразу же после такой корректировки времени внутренняя ось времени может не более чем на 1 мс отличаться от внешнего источника. Как правило, погрешность по времени оси времени не превышает 1 часть на миллион.

При отсутствии внешнего источника синхронизации системы ALE 3G могут поддерживать синхронизацию, используя протоколы управления синхронизацией в эфире.

Как правило, в системах ALE 3G зондирование не требуется. Сведения о каналах распространения могут использоваться в синхронных сетях для задержки начала вызова и, таким образом, уменьшения занятости канала вызова. Однако при синхронном сканировании сведения о каналах распространения будут лишь незначительно влиять на задержку соединения, если только из списка сканирования не исключены каналы, в которых нет распространения. Когда синхронная сеть содержит многочисленные "серверные" станции для обеспечения географического разнесения "клиентских" станций, осуществляющих вызов в направлении группы серверов, серверы должны издавать звук, чтобы составить базу данных показателей распространения на станциях клиентов для использования при выборе наилучшего сервера для осуществления вызова. Синхронное зондирование состоит из блока протокольных данных (PDU) одного уведомления. В асинхронных сетях ALE 3G зондирование может быть желательным, если данные о распространении невозможно получить с помощью других средств.

3.2.5 Удержание канала и рассоединение

Если каналом связи управляет контроллер, например, когда передается текст или данные, он может адаптивно реагировать на изменения состояния канала. Если, например, качество связи ухудшится, то автоматически может быть инициирована смена частоты.

Либо же оператор или контроллер имеет возможность прекратить соединение. Затем контроллер подает соответствующие команды для обеспечения последовательного отсоединения обеих станций от канала связи. После чего эти станции возобновят сканирование частот из перечня частот.

3.3 Характеристики формы сигнала

3.3.1 Формы сигнала ALE 2G

3.3.1.1 Введение

Форма сигнала ALE 2G рассчитана на то, чтобы проходить через полосу пропускания звукового сигнала стандартного оборудования ОБП. Такая форма сигнала предусмотрена для надежных, низкоскоростных цифровых модемов, используемых для множества целей, с тем чтобы они включали селективный вызов и передачу данных. В данном разделе определяется форма сигнала, включая тоны, их значения, синхронизацию и скорости, а также их точность.

3.3.1.2 Тоны

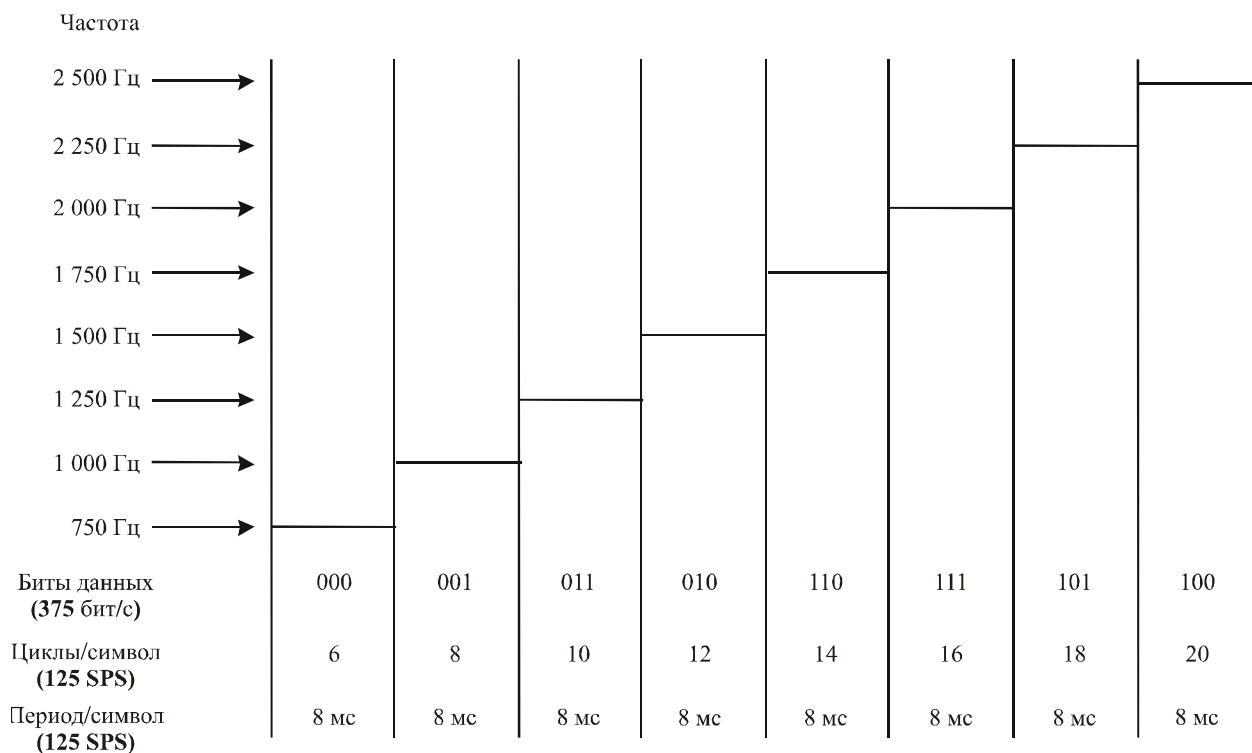
Форма сигнала, как правило, представляет собой модуляцию с частотной манипуляцией (ЧМн) с восемью ортогональными тонами, по одному тону (или символу) одновременно. Каждый тон представляет собой следующие три бита данных (самый младший разряд бита (LSB) расположен справа):

750 Гц	000
1000 Гц	001
1 250 Гц	011
1 500 Гц	010
1 750 Гц	110
2 000 Гц	111
2 250 Гц	101
2 500 Гц	100

На рисунке 2 изображено размещение восьми тонов ЧМн в полосе пропускания, их длительность в секундах и циклах, а также присвоенные биты для использования при передаче сигналов ALE. Отметим, что присвоение битов производится таким образом, чтобы ошибки при демодулировании одного тона приводили только к одной ошибке по битам.

РИСУНОК 2

Восьмизначная модуляция ЧМн для ALE 2G



Примечание. – Переходы символов должны быть с непрерывной фазой.

Rap 2061-02

3.3.1.3 Слово ALE 2G

Основной единицей передач ALE 2G является слово ALE. Каждое слово ALE содержит 24 бита данных протокола, которые обычно включают начальную часть сообщения размером в 3 бита (определяющую тип слова ALE), за которой следует позывной сигнал из 21 бита или другие технические данные ALE. К каждому слову ALE для повышения его надежности применяется

кодирование с упреждающей коррекцией ошибок (FEC), включая кодирование Голея со скоростью $\frac{1}{2}$ и утроение сигнала. Время нахождения в эфире каждого закодированного слова ALE составляет 392 мс. Самые короткие передачи ALE 2G содержат три слова; такие короткие передачи характерны для вхождения в связь в ALE 2G. Более длинные сообщения, которые используются для начала установления канала связи, включают этап сканирования вызова длительность порядка 10 с. Продолжительность самой длинной, насколько это возможно, передачи ALE 2G (что используется редко) составляет до 20 мин.

3.3.1.4 Форма сигналов данных ALE 2G

Для передачи данных по ВЧ каналам в настоящее время используется ряд модуляций данных, включая как модуляцию с параллельными тонами (OFDM), так и модуляцию с последовательными тонами (ФМн и КАМ). Сейчас для работы в номинальном канале 3 кГц наиболее часто используется модуляция с последовательными тонами.

3.3.2 Набор форм сигналов ALE 3G

Набор изменяемых форм импульсных сигналов используется для интегрированных протоколов ALE 3G: ALE (также называется установлением соединения или LSU), управления трафиком (ТМ), автоматического удержания канала связи (ALM), линии передачи данных с небольшим временем запаздывания (LDL) и линии передачи данных с большой пропускной способностью (HDL).

3.3.2.1 Модуляция

В форме сигнала ALE 3G используются короткие импульсы модуляции с фазовой манипуляцией. Разновидности таких форм импульсных сигналов также используются для управления каналом связи ALE 3G и для передачи данных. Характеристики формы сигнала из группы ALE 3G в кратком виде приводятся в представленной ниже таблице.

ТАБЛИЦА 1

Примерные характеристики типичной формы сигнала 3G

Форма сигнала	Используется для	Длительность импульса	Полезная нагрузка	Кодирование FEC	Чередование	Формат данных	Эффективная скорость кодирования ⁽¹⁾
BW0	3G-ALE PDU	613,33 мс 1 472 символ ов ФМн	26 битов	скорость 1/2, $k = 7$ сверточное (без сброшенных битов)	4×13 блоков	16-значная ортогональная функция Уолша	1/96
BW1	Управление трафиком PDU; подтверждение HDL приема PDU	1,30667 с 3 136 символ ов ФМн	48 битов	скорость 1/3, $k = 9$ сверточное (без сброшенных битов)	16×9 блоков	16-значная ортогональная функция Уолша	1/144
BW2	Данные HDL о трафике PDU	$640 + (n \times 400)$ мс $1\,536 + (n \times 960)$ символов ФМн, $n = 3, 6, 12,$ или 24	$n \times 1881$ бит	скорость 1/4, $k = 8$ сверточное (7 сброшенных битов)	Нет	32 неизвестно/ 16 известно	Переменная величина: от 1/1 до 1/4

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Форма сигнала	Используется для	Длительность импульса	Полезная нагрузка	Кодирование FEC	Чередование	Формат данных	Эффективная скорость кодирования ⁽¹⁾
BW3	Данные LDL о трафике PDU	$373,33 + (n \times 13,33)$ мс $32n + 896$ символов ФМн, $n = 32 \times m$, $m = 1, 2, \dots, 16$	$8n + 25$ битов	скорость 1/2, $k = 7$ сверточное (7 сброшенных битов) ⁽²⁾	Сверточный блок	16-значная ортогональная функция Уолша	Переменная величина: от 1/12 до 1/24
BW4	Подтверждение LDL приема PDU	640,00 мс 1 536 символов ФМн	2 бита	Нет	Нет	4-значная ортогональная функция Уолша	1/1920

⁽¹⁾ Отражает только упреждающую коррекцию ошибок (FEC) и кодирование с использованием функции Уолша; не включает известные данные или устройство для сверточного кодирования сброшенных битов.

⁽²⁾ В этом случае количество сброшенных битов превышает на один бит минимальное количество, необходимое для сбрасывания устройства для сверточного кодирования; это приводит к тому, что количество кодированных битов кратно четырем, как это требуется форматом модуляции с использованием функции Уолша.

Другие формы сигналов, включая сигнал модема с последовательными тонами и сигнал с высокой скоростью передачи данных, могут использоваться для передачи данных и передачи речевых сигналов в цифровой форме по каналам связи, установленным с использованием протоколов ALE 3G и TM.

3.3.2.2 Сложение кодирования

В протоколах ALE 3G каналов передачи данных используется передовой адаптивный метод, называемый сложением кодов, для повышения величины каждого импульса энергии, направляемого по ВЧ каналу. Программные решения для каждого полученного символа сохраняются на приемнике, когда кадр данных содержит ошибки, не поддающиеся исправлению. При ретрансляции кадра передаются дополнительные биты коррекции ошибок, сложение которых осуществляется *в аналоговом режиме* на приемнике с ранее полученной энергией сигнала, таким образом, что символам, которые приходят с более высоким отношением сигнал/шум, в функции сложения присваивается более высокое значение. Это приводит к заметному снижению коэффициента ошибок по кадрам для конкретного отношения сигнал/шум и к увеличению способности систем ALE 3G передавать данные по каналам с низким отношением сигнал/шум и высоким уровнем помех.

3.4 Методы повышения скорости передачи данных

Может применяться разделение каналов, которое основано на использовании нескольких каналов 3 кГц.

3.4.1 Работа с независимой боковой полосой

В настоящее время используются модемы, которые осуществляют одновременную передачу данных по многим независимым боковым полосам. Такие модемы содержат независимые модуляторы ФМн/КАМ для каждого звукового канала, но используют единственное кодирующее устройство с упреждающей коррекцией ошибок, на выходе которого поток битов распределяется для передачи по отдельным каналам. Когда эти каналы переносятся смежными частотами, отношение сигнал/шум в каналах обычно бывает одинаковым, хотя ошибки в канале не полностью увязаны. Поэтому некоторое улучшение на выходе достигается за счет сложения разнесенности.

В настоящее время модемы ISB обеспечивают скорость передачи данных до 32 кбит/с в двух каналах (номинальных) 3 кГц и до 64 кбит/с в четырех каналах.

3.4.2 Работа в каналах, не являющихся смежными

В случае когда количество доступных смежных каналов недостаточно для обеспечения потребностей в передаче данных, необходима работа в каналах, не являющихся смежными. В этом случае значения отношений сигнал/шум в канале могут существенно различаться, так что распределение потока битов с единым кодированием по всему набору каналов не является оптимальным. Вместо этого для каждого набора каналов создаются потоки битов с отдельным кодированием. Управление потоком осуществляется независимо для каждой канальной полосы, чтобы удерживать общую пропускную способность близко к максимально возможному уровню для используемых частот.
