**Методы снижения помех в RadioEthernet-сетях**

Сергей Лубенец

Увеличение количества провайдеров предоставляющих услуги доступа к сети Интернет по радиоканалам с использованием RadioEthernet и рост числа пользователей этих услуг привело к проблеме электромагнитной совместимости. В особенности это характерно для крупных городов, где количество RadioEthernet-провайдеров и операторов систем беспроводной передачи данных достигает 5...10. В результате диапазон частот 2,4...2,5ГГц оказался перегружен и зашумлен.

Проблема зашумленности остается актуальной и для других регионов, где вблизи указанного диапазона интенсивно работают системы сотовой связи GSM-1800, радиорелейная связь, ведомственные системы передачи данных. Конечным результатом подобной ситуации оказалось ухудшение качества радиосвязи и, соответственно, качества предоставляемых услуг конечному пользователю. Кроме того, в ближайшее время ожидается дополнительное обострение ситуации, вызванное разворачиванием системы широкополосного беспроводного доступа на базе технологии MMDS, работающей в близком к RadioEthernet диапазоне 2,5...2,7ГГц.

Сложившаяся обстановка заставляет операторов сетей передачи данных искать способы и средства для снижения уровня помех в радиоканалах систем. В связи с этим проанализируем возможные пути решения задачи повышения помехозащищенности, укажем основные подходы к улучшению качества радиосвязи в беспроводных сетях передачи данных. На наш взгляд, основными направлениями решения этой задачи являются:

Выбор специальных базовых и абонентских антенн, а также способа их установки и настройки.

Усиление полезных сигналов для выделения их на фоне действующих полей.

Использование высокочастотных фильтров-грозоразрядников для подавления внеполосных помех.

Снижение уровня помех грамотным подбором и установкой антенного хозяйства провайдера рассматривается многими специалистами как эффективный способ ухода от проблемы зашумленности диапазона, повышение надежности радиосвязи и скорости передачи данных. В основном это достигается использованием узконаправленных и узкополосных абонентских, а также секторных базовых антенн для выбора требуемого направления приема/передачи с целью пространственной селекции полезного сигнала.

Установка базовых секторных антенн возможна при покрытии провайдером определенного сектора территории, в пределах которого отсутствуют мощные источники радиоизлучения, создающие помехи. Однако этот подход невозможен в тех случаях, когда базовая станция провайдера находится в центре зоны покрытия, и необходимо устанавливать антенну с круговой диаграммой направленности. Правда, для круговой засветки можно использовать набор из нескольких секторных антенн с возможностью их индивидуальной настройки как по частоте, так и по углу места, а также с исключением тех антенн из набора, в направлении которых действуют помехи. Однако такое решение является технически сложным и дорогостоящим, а отказ от определенного сектора делает невозможным подключение к сети расположенных в нем абонентов.

Использование узконаправленных абонентских антенн может быть ограничено их сравнительно высокой стоимостью и нежеланием или невозможностью пользователя оплатить дополнительные расходы. К тому же, заранее может быть неизвестно, что будет более эффективно для потребителя:

установка недорогой антенны с широкой диаграммой направленности и низким, но достаточным коэффициентом усиления для снижения чувствительности приемного тракта и уменьшения вероятности прохождения вездесущей помехи;

применение более дорогой узконаправленной антенны, которая позволит пространственно отстроиться от действующей помехи.

Рис. 1. Внешний вид рупорной антенны

В такой ситуации можно рекомендовать поэтапный подход с использованием недорогих рупорных антенн, которые обладают свойством универсальности и, кроме самостоятельного применения, могут быть использованы также в качестве облучателя зеркальной антенны. Тогда схема подбора антенны для абонента выглядит следующим образом. На первом этапе выполняется установка рупорной антенны с усилением 12...14дБi, изображенной на рис.1. Если результаты работы будут неудовлетворительными, на втором этапе приобретается зеркало-отражатель, и на него устанавливается уже имеющаяся рупорная антенна как облучатель для получения узконаправленной антенны с усилением 17 или 24дБi (в зависимости от диаметра зеркала). Внешний вид зеркальной антенны с рупором-облучателем показан на рис.2. Таким образом, удается выбрать оптимальный вариант абонентской антенны при минимальных денежных затратах. При необходимости ухода от помехи путем изменения поляризации антенны, оно выполняется простым поворотом рупора-облучателя на 900 без необходимости демонтажа всей антенны и даже ее части.

Рис. 2. Внешний вид зеркальной антенны с рупором-облучателем

В общем случае устранение помех путем правильного подбора базовых и абонентских антенн, а также способа их установки является довольно эффективным, но дорогостоящим и трудоемким методом, требующим от провайдера вложения значительных средств и достаточно высокой квалификации специалистов. Часто это оказывается не под силу, особенно если на момент появления помех система уже развернута и средства вложены.

Реализация второго подхода с применением базовых и абонентских усилителей кроме увеличения дальности связи часто оказывается эффективным и при борьбе с помехами. В первую очередь из-за усиления передающих сигналов, в результате чего полезный сигнал выделяется на фоне действующих помех. Эффект от усиления принимаемого сигнала не так велик, а часто даже отрицателен, поскольку вместе с полезным входным сигналом усиливаются и помехи, находящиеся в диапазоне 2,4...2,485ГГц. В результате чрезмерное повышение чувствительности приемника системы может оказать пагубное влияние на качество ее работы и снизить скорость передачи данных.

В состав двунаправленного усилителя, используемого для усиления сигналов в RadioEthernet-сетях, входит встроенный диапазонный высокочастотный фильтр (LC-фильтр или фильтр на поверхностных акустических волнах), который настроен на центральную частоту 2,45ГГц и обеспечивает фильтрацию входного сигнала в полосе частот около 100МГц. Таким образом, усилитель подавляет помехи за пределами диапазона RadioEthernet, но оказывается бессильным при наличии помех в самом диапазоне, что как раз и характерно для нынешней ситуации. К тому же для многих производителей усилителей параметры используемых встроенных фильтров оставляют желать лучшего, что негативно сказывается на качестве фильтрации и работе изделия в целом. Наконец, отсутствие фильтра в передающем тракте усилителя приводит к увеличению уровня внеполосного излучения в цепи передатчика и появлению продуктов интермодуляции, что осложняет и без того непростую электромагнитную обстановку в эфире. Возможное применение на выходе усилителя фильтра для подавления гармоник не способствует в полной мере решению задачи подавления интермодуляционных помех.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что эффективным средством для борьбы с помехами в RadioEthernet-сетях может оказаться совместное использование усилителя с высокочастотным узкополосным фильтром, установленным в приемо-передающем тракте антенно-фидерной системы с оптимальной настройкой полосы пропускания фильтра на рабочую полосу действующего оборудования (на один или группу перекрывающихся рабочих каналов провайдера). В том же случае, если передаваемый и принимаемый полезный сигналы имеют достаточно высокий уровень мощности, наиболее целесообразным является самостоятельное использование фильтров, которые обычно вносят небольшие (порядка 0,5...1,5дБ) потери, и значительно дешевле усилителей. В связи с этим хотелось бы обратить внимание специалистов на возможность использования высокочастотных фильтров в диапазоне 2,45ГГц, детально остановиться на проблеме их выбора и применения, тем более что использование таких фильтров в системах связи с широкополосной модуляцией часто ставится под сомнение.

Действительно, использование в системах стандарта IEEE 802.11 на физическом уровне методов широкополосной модуляции сигнала обуславливает некоторую специфику применения с таких системах узкополосных высокочастотных фильтров для подавления помех. Так для оборудования, работающего с FHSS модуляцией и занимающего весь спектр частот в диапазоне 2,4...2,485ГГц, устранение взаимных помех с помощью дополнительных ВЧ-фильтров практически невозможно. Но при наличии мощных помех вне указанного диапазона, способных блокировать приемные каскады радиоаппаратуры и стопорить работу системы передачи данных в целом, вполне эффективным будет использование фильтров с шириной полосы пропускания около 80МГц, покрывающей весь суммарный спектр рабочих каналов FHSS-систем с глубоким подавлением внеполосных помех.

В системах передачи данных, использующих модуляцию DSSS, кроме широкополосных диапазонных фильтров вполне реальным является также применение и канальных фильтров с шириной полосы пропускания 25МГц и меньше. Такие фильтры способны подавить как мощные внедиапазонные помехи, так и взаимные помехи от оборудования RadioEthernet, работающего на соседних не перекрывающихся каналах.

Для снижения уровня помех ряд провайдеров пытаются приобретать герметично выполненные фильтры для их наружной установки, например, вместе с усилителем. Однако категорическое требование герметичности не всегда оправдано. Следует помнить о том, что фильтры в герметичном исполнении обычно имеют минимум органов регулировки, или же внешние органы настройки вообще могут отсутствовать. Это означает, что параметры высокочастотного фильтра, определяющиеся его конструкцией, уже невозможно изменить после его изготовления. В лучшем случае допускается незначительная их коррекция. Часто именно этим объясняются большие вносимые узкополосными фильтрами потери (2,5дБ и более), а также слабое внеполосное затухание. При этом говорить о качестве и максимальном соответствии параметров фильтра индивидуальным требованиям заказчика не приходится.

Рис. 3. Внешний вид перестраиваемого узкополосного высокочастотного фильтра-грозоразрядника на периодических структурах

Если же в фильтре имеется возможность выполнять внешнюю настройку каждого резонатора, количество которых может быть 6...10 и больше (рис.3), то качественная и долговечная герметизация требует более тщательного подхода к этому процессу ввиду значительного количества точек герметизации. Зато в этом случае после изготовления фильтра есть возможность получения необходимых оптимальных параметров (минимальные прямые потери, требуемая ширина полосы пропускания, максимальное внеполосное подавление) путем его тщательной окончательной настройки. Такие фильтры, при отсутствии герметизации, необходимо устанавливать в помещение, хотя, как правило, это не является недостатком. Более того, в случае самостоятельного применения фильтра (без использования усилителя) его внутренняя установка является обязательным требованием. Не следует забывать о том, что конструкция высокочастотных фильтров, работающих в диапазоне 2,45ГГц, позволяет им дополнительно выполнять функцию грозозащиты. А устройства грозозащиты, как известно, рекомендуется устанавливать и заземлять уже на спуске коаксиального кабеля в помещении возле имеющихся линий заземления радиооборудования. Схема подключения фильтра-грозоразрядника при его внутренней установке показана на рис.4а. В этом случае оборудование будет защищено не только от остаточных импульсов разряда в антенне, но и от статических наводок в самом кабеле снижения. Наконец, при внутренней установке фильтров значительно увеличивается срок их службы, и производитель может позволить себе расширить гарантийные обязательства. При внешнем же использовании даже герметичных фильтров сложно гарантировать их длительную эксплуатацию.

Рис. 4. Схемы установки высокочастотного фильтра: а) без усилителя; б) с усилителем

При необходимости совместного использования ВЧ-фильтра с усилителем следует либо приобретать фильтр в герметичном исполнении, либо размещать его вместе с усилителем в герметичном термобоксе с последующей установкой и заземлением бокса на мачте в непосредственной близости к антенне, как показано на рис.4б. В этом случае для обеспечения надежной защиты оборудования от грозовых разрядов рекомендуется устанавливать дополнительное грозозащитное устройство в помещении возле радиооборудования и имеющихся линий контура заземления. Внешний вид такого устройства показан на рис.5.

Рис. 5. Внешний вид устройства грозозащиты

Для обеспечения возможности перестройки аппаратуры провайдера с одного канала на другой вместо одноканального высокочастотного фильтра необходимо устанавливать фильтр с широкой полосой пропускания, равной суммарной ширине рабочей полосы провайдера с учетом диапазона перестройки. Возможна также параллельная установка нескольких смежно-настроенных фильтров с поочередным их подключением в процессе перестройки.

До сих пор речь шла об использовании высокочастотных фильтров с шириной полосы пропускания, равной или больше ширины полосы одного DSSS-канала (≥22МГц). При этом предполагалось наличие помехи только вне этой полосы, например, от сигналов в соседних не перекрывающихся каналах или же от мощных источников излучения вне диапазона RadioEthernet. Но как быть с помехами, расположенными в самой полосе канала, и чем при этом может помочь фильтрация полезного сигнала с помощью узкополосных фильтров?

Известно, что при достаточно большом расстоянии между базовыми станциями операторов сетей передачи данных, а также при сравнительно низкой мощности их передатчиков возможно использование операторами одного региона (города) соседних, перекрывающихся по спектру, каналов связи. Однако, наблюдающееся в последнее время массовое использование базовых и абонентских усилителей, погоня за повышением мощности излучения полезного сигнала, с целью выделения его на фоне помех и увеличения дальности связи, привели к ситуации, когда излучения даже удаленных базовых станций провайдеров стали создавать помехи друг другу. Изменение поляризации сигнала некоторыми провайдерами, в общем, не решило этой проблемы. Каждый раз подобные действия по уходу от помех вызывают цепную реакцию: все устанавливают более мощные усилители, либо изменяют поляризацию, а эффект оказывается нулевым. Новые витки погони за качеством связи посредством увеличения мощности усилителей недопустимы и способны еще больше усугубить ситуацию. Выяснение отношений, перекраивание карты местности с делением зон покрытия и распределением абонентов между провайдерами тоже особого удовольствия не приносят.

Выход из подобной ситуации возможен посредством снижения уровня помех в рабочей полосе провайдера. Снизить помехи позволяет использование узкополосных высокочастотных режекторных или полосно-пропускающих фильтров с шириной полосы пропускания меньше 22МГц. Их применение возможно благодаря существующей избыточности данных передаваемых в RadioEthernet-сетях.

Как известно, избыточность в системах с технологией DSSS вызвана 11-кратным кодированием каждого бита исходных данных кодом Баркера. Она обеспечивает базу передаваемого шумоподобного сигнала равной 11 и, соответственно, расширяя полосу частот исходного информационного сигнала в 11 раз. В связи с этим возникает вопрос о возможности вырезания из спектра полезного входного сигнала мощной узкополосной помехи с помощью узкополосного режекторного фильтра, настроенного на эту помеху. После установки такого фильтра вместе с помехой будет вырезаться и часть полезного сигнала. Однако передаваемые данные должны быть полностью восстановлены коррелятором приемника ввиду имеющейся избыточности.

Как недостаток такого подхода можно отметить сложность технической реализации в этом диапазоне частот режекторных фильтров с узкой (≤5МГц) полосой режекции. К тому же положение помехи на частотной сетке может со временем измениться, в результате чего она может выйти из зоны режекции. Не исключено также появления новой помехи, опять же, вне зоны режекции установленного фильтра.

Второй подход предполагает использование полосно-пропускающих фильтров с шириной полосы пропускания меньше 22МГц, настроенных на пропускание с минимальными потерями центральной части спектра передаваемого шумоподобного сигнала, где сосредоточено около 90% его спектральной мощности. При этом боковые составляющие спектра могут быть частично или полностью подавлены вместе с действующей помехой. На какое именно значение ширины полосы пропускания настроить ВЧ-фильтр, и как эту полосу разместить относительно несущей полезного сигнала (симметрично или несимметрично), будет зависеть от положения помехи и установленной скорости передачи данных. Расчеты показывают, что при скорости передачи данных 1...2Мбит/с допустимо использование узкополосного ВЧ-фильтра с шириной полосы пропускания 10...14МГц, который способен пропустить основную мощность излучения (основной пик спектра сигнала). При этом полное подавление боковых составляющих спектра, в которых сосредоточены оставшиеся 10% спектральной мощности излучения, приводит к незначительному искажению формы принимаемого сигнала и практически не влияет на качество передачи данных.

Перед использованием высокочастотного узкополосного фильтра по возможности необходимо установить, что представляет собой источник помех, каково его расположение в частотной сетке относительно рабочих частот провайдера. Это можно осуществить путем сканирования исследуемого диапазона частот с использованием соответствующего оборудования. При этом важно выяснить: не расположена ли несущая частота мешающего сигнала в центральной части (основном пике спектра) рабочей полосы частот действующего оборудования. Если нет, то провайдер получит максимальный эффект от использования фильтра, сообщив производителю всю необходимую частотную информацию для изготовления изделия с требуемыми параметрами. Но даже в том случае, когда часть широкополосной помехи находится в рабочей полосе оборудования провайдера и все же попадает на вход приемника, сужение полосы частот входного сигнала с помощью узкополосного фильтра снижает общую суммарную мощность действующих помех в приемном тракте радиооборудования, что уменьшает вероятность стопорения системы и, соответственно, увеличивает надежность и скорость передачи данных. Во многих случаях применение только высокочастотного фильтра сразу дает положительный эффект. Таким образом, провайдеру удается решить задачу снижения уровня помех, повысить качество предоставляемых услуг и улучшить статистику отзывов о своей работе с минимальными материальными затратами.

В заключение следует отметить, что применение узкополосных фильтров в приемо-передающем тракте кроме подавления помех способствует также и решению обратной задачи – снижению собственных шумов действующего оборудования провайдера, улучшая тем самым качество связи в RadioEthernet-сетях других провайдеров работающих на соседних не перекрывающихся каналах. Этот эффект особенно заметен в случае использования мощных усилителей, способных кроме частот кратных несущей порождать множество интермодуляционных составляющих вблизи спектра излучения. Известен случай, когда работающий на 6-ом DSSS-канале провайдер отмечал значительное улучшение работы своей системы после установки высокочастотного фильтра с шириной полосы пропускания 25МГц на выходе усилителя мощностью 1Вт в первом DSSS-канале другого, рядом работающего провайдера. Таким образом, применение узкополосных высокочастотных фильтров способствует поддержанию принципа «не мешай другому», и они могут быть рекомендованы к использованию в случае наличия претензий к провайдеру со стороны других пользователей частотного ресурса, а также государственных инспектирующих органов по частотному надзору.