

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВОЛОКОННО-ЭФИРНОЙ СТРУКТУРЫ

© 2009 г. М.Е. Белкин

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет)

e-mail: belkin@mirea.ru

Введение

Современная мировая инфраструктура телекоммуникационных сетей представляет собой эклектический набор разнородных линий передачи на основе волоконных, коаксиальных и многопарных кабелей, а также наземных и спутниковых радиолиний. При этом глобальные транспортные сети большой протяженности, как правило, функционируют на базе волоконно-оптических либо спутниковых систем, локальные сети и сети абонентского доступа – на основе связанных через стандартные интерфейсы волоконно-оптических, радио и металлических проводных систем передачи. Таким образом, для обмена информацией между пользователями даже в пределах одного города приходится использовать значительное число различных по принципам построения, архитектуре, требованиям к достоверности передачи информации, частотным полосам систем, что существенно увеличивает стоимость услуги связи и ухудшает ее качество.

Понятно, что выход из сложившейся ситуации лежит в повышении однородности телекоммуникационного парка и оптимизации места применения каждого из вышеуказанных типов линий с учетом их преимуществ.

Волоконно-оптический кабель (ВОК) является самой широкополосной средой передачи информации. Быстро растущие потребности по увеличению объемов и сокращению сроков доставки услуг связи абонентам стимулировали исследования систем доставки информации непосредственно с помощью ВОК. Однако такие системы, например типа «волокно в дом», до сих пор не получили широкого развития в реальных сетях абонентского доступа, в основном из-за экономических проблем. В связи с этим были предложены альтернативные способы доставки информации с использованием на абонентском участке более экономичной среды передачи на основе радиосредств, которая одновременно обеспечивает такую важную общественную потребность, как постоянная доступность абонента для связи.

Цель данной работы состоит в исследовании принципов построения и особенностей функционирования аппаратуры нового класса телекоммуникационных систем, строящихся на базе комбинирования волоконно-оптических и радиосредств.

1. Принципы функционирования современных и перспективных телекоммуникационных систем

Как следует из Введения, основным объектом исследования настоящего доклада являются интенсивно развивающийся в последние годы за рубежом новый класс телекоммуникационных систем абонентского доступа (ТСАД) на основе волоконно-эфирной структуры, который получил общее название Radio-over-Fiber (RoF). Для корректного выявления особенностей данной системы проводится сравнительный анализ функциональных возможностей современных ТСАД.

Анализ современных сетей абонентского доступа

Как следует из [1], при строительстве современных сетей электросвязи наиболее емкой по инвестициям (до 90%) является сеть абонентского доступа, поэтому вопросам ее экономичности должно уделяться наибольшее внимание.

В настоящее время в мире производителями аппаратуры связи предложены и реализованы различные способы доставки аналоговых и цифровых сигналов вещательного телевидения и связи на основе доступа с помощью радио и проводных средств. В сетях телевизионного радиодоступа (СТРД) наиболее известны системы эфирного и непосредственного спутникового телевидения (НСТВ), различные варианты эфирных распределительных систем типа xxDS (MMDS, LMDS, MVDS), среди которых наиболее распространена система MMDS, а также система сотового телевидения. Для доставки с помощью радиосредств телефонных, Интернет- и других сравнительно узкополосных сигналов применяют цифровые системы сотовой связи (ЦССС) различного уровня (стандарты GSM, CDMA, DECT, GPRS и т. д.)

Проводной абонентский доступ для доставки узкополосных цифровых сигналов (телефонная и компьютерная связь, Интернет и т. д.) обеспечивается на основе пакетной либо канальной коммутации с использованием цифровых локальных сетей связи (ЦЛСС): B-ISDN, Frame Relay, Ethernet, xDSL и т. д. В таких сетях, как правило, применяется технология FTTC, где в качестве среды передачи на верхнем уровне используются волоконно-оптические кабели, а на нижнем - симметричные либо коаксиальные медные кабели. Информация передается в цифровой форме с использованием цифровых волоконно-оптических систем передачи (ЦВОСП). Кроме того, для доставки каналов телевизионного вещания в мире широко распространены системы кабельного телевидения (СКТВ) на основе коаксиальных кабелей, в которых для улучшения качества распределяемых сигналов на супермагистральных линиях (например, для соединения головных станций) с начала 90-х годов применяются аналоговые волоконно-оптические системы с частотным разделением каналов (ВОСП с ЧРК).

Дальнейшим этапом развития систем кабельного телевидения, позволившим значительно увеличить число доставляемых ТВ каналов, являются так называемые гибридные распределительные сети волоконно-коаксиальной структуры (иностранная аббревиатура HFC) [2], которые в отечественной научно-технической литературе названы "мультисервисными сетями абонентского доступа" (МСАД). Принципы построения и функционирования и требования к оборудованию группового и линейного трактов таких сетей описаны в [3]. Основное отличие МСАД от

вышеперечисленных радио и проводных сетей абонентского доступа состоит в возможности одновременной доставки абоненту в аналоговой и цифровой форме любых услуг современной электросвязи: телевидения (до 80 аналоговых ТВ каналов), проводного звукового вещания, телефонной, компьютерной и документальной связи и т. д. Доставка всех сигналов осуществляется по общему волоконно-коаксиальному линейному тракту с применением как аналоговых, так и цифровых форматов модуляции (АМ-ОБП, ИКМ-ФРМ, QAM и др.), что обеспечивает экономичность данной распределительной сети и простоту сопряжения с любыми сетями высшего уровня и другими локальными сетями. Кроме того, примененный способ частотного разделения каналов при общей полосе пропускания более 800 МГц позволяет простыми средствами на основе единого линейного тракта реализовать в сети различные наложенные системы служебного, муниципального и социального назначений, например, телеконтроля работоспособности оборудования, пожарной и охранной сигнализации, телеметрии показаний счетчиков коммунальных услуг, рейтингового голосования, медицинского видеомониторинга и т. д.

Дальнейшим развитием МСАД служат начинающиеся внедряться (в основном, в Японии) проводные сети с доведением волокна непосредственно до абонента. Типичным примером их являются так называемые «пассивные оптические сети» (PON) [4].

Сравнительная оценка рассмотренных выше систем абонентского доступа по возможностям доставки различных традиционных и новых услуг электросвязи приведена в табл. 1.

Таблица 1

	Аналоговое ТВ вещание	Цифровое ТВ вещание	Двунапр. передача данных (+Интернет)	Передача коммутир. цифровых видеосигналов	Передача сигналов мультимедиа	Цифровая телефонная связь
СТРД	+	+	—	—	—	—
ЦССС	—	—	+	—	—	+
ЦЛСС	—	—	+	+	+	+
СКТВ	+	+	—	—	—	—
МСАД	+	+	+	+	+	+

Как следует из таблицы, единственным телекоммуникационным средством, обеспечивающим одновременную доставку абонентам всех современных услуг электросвязи, является мультисервисная сеть МСАД, построенная на основе сочетания волоконной и коаксиальной кабельных структур. Однако в силу присущего ей проводного характера данная сеть предназначена только для обслуживания стационарных абонентов и не охватывает большой и очень важной в настоящее время (например, в связи с тенденциями развития систем персональной связи) социальной группы мобильных абонентов. Необходимость обеспечить потребности мобильных абонентов в высокоскоростных цифровых соединениях различного контента (телефонная связь, подключение к сети Интернет, цифровое телерадиовещание, передача сигналов мультимедиа и т. д.), а также потребность упростить соединения с терминалами стационарных абонентов за счет беспроводной технологии привела к интенсивному развитию сетей абонентского доступа волоконно-эфирной структуры.

Хотя исследования данного класса сетей начались в середине 90-х годов прошлого столетия, разработка реальной аппаратуры для их

построения началась только в последние годы, что связано с интенсивным развитием двух принципиально новых направлений оптоэлектроники и микро- и нанофотоники: сверхвысокочастотной оптоэлектроники и оптоэлектронных интегральных схем. Ожидается, что внедрение достижений, полученных в вышеуказанных направлениях, приведет к существенному улучшению технико-экономических показателей систем волоконно-эфирной структуры, что позволит эффективно использовать их в реальных сетях абонентского доступа.

2. Особенности построения системы класса RoF

Обобщенная схема телекоммуникационной системы распределения волоконно-эфирной структуры [5] приведена на рис. 1.

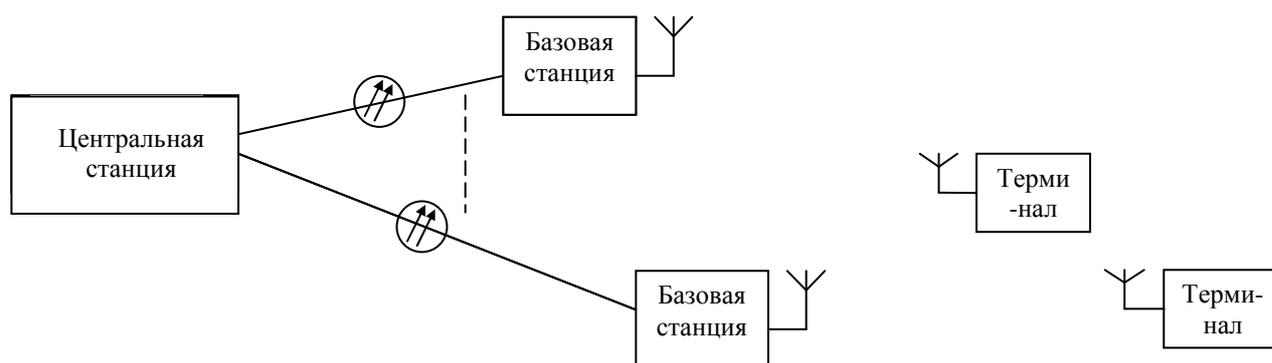


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы класса RoF

Как следует из рисунка, на центральной станции оптический передатчик модулируется на поднесущих СВЧ диапазона цифровыми информационными сигналами со скоростями 1...10 Гбит/с. Волоконно-оптические линии соединяют центральную и базовые станции. На базовой станции осуществляются оптико-электрическое преобразование и передача в эфир в пределах зоны радиусом до 100 м. Сигналы принимаются и демодулируются абонентскими терминалами. Передача сигналов от абонента происходит в обратной последовательности.

Показанная на рисунке так называемая радиальная схема соединения центральной и базовых станций не является единственно возможной. Так в соответствие с вступившей в период практической реализации комбинированной сетевой технологией, основанной на волоконно-коаксиальной структуре линейного тракта, для расширения зоны обслуживания могут быть также применены радиально-узловая и древовидная схемы [3]. Среди них древовидная сетевая схема пока получила наибольшее развитие, поскольку считается, что базой для систем класса RoF являются так называемые распределенные антенные системы, которые были изобретены как замена коаксиальному кабелю с излучающими щелями для обеспечения связи в тоннелях метро и автострад [6].

Принципиальные достоинства данной системы заключаются в том, что благодаря распределенной структуре и работе в миллиметровом диапазоне радиоволн:

- повышается пропускная способность канала;
- уменьшаются взаимные помехи между базовыми станциями;

- обеспечиваются высокие массогабаритные характеристики приемо-передающего оборудования и антенн;
- повышается экономическая эффективность и уменьшается время развертывания по сравнению с проводными системами;
- обеспечивается постоянная доступность для связи абонентов сети.

Прогнозируется, что основными областями применения системы типа RoF будут интерактивные локальные системы связи и распределения, например, системы сотовой связи будущих поколений, системы персональной связи, системы распределения мультигигабитной сети ETHERNET, Интернет-телевизионные системы по протоколам IPTV и др.

Проведем общий анализ телекоммуникационной распределительной системы, структурная схема которой приведена на рис. 1. Согласно рисунку основными структурными элементами являются: центральная станция (ЦС), базовые станции (БС) и абонентские терминалы (АТ). В соответствии с установившейся для телекоммуникационных систем терминологией примем в качестве прямого канала – направление передачи сигналов от ЦС к АТ (иначе исходящее направление), а в качестве обратного – направление от АТ к ЦС (иначе входящее направление). Сигналы между ЦС и БС передаются в обоих направлениях по волоконно-оптическим линиям в спектральных полосах, соответствующих второму (1,27...1,33 мкм) либо третьему (1,5...1,6 мкм) окнам прозрачности кварцевого световода. Как и в уже достаточно хорошо развитых системах абонентского доступа волоконно-коаксиальной структуры [3], трафик в системах данного класса будет существенно асимметричным. То есть информационный объем по прямому каналу будет существенно выше, чем по обратному. Для его дальнейшего увеличения в соответствии с возрастающими потребностями в прямом направлении планируется, как и в традиционных ВОСП, широко использовать спектральное разделение каналов, например, по рекомендации ITU-T G.692 с шагом между оптическими несущими 50 либо 100 ГГц. Сигналы обратного канала можно передавать от каждой БС по тому же волокну с использованием СРК либо по отдельному волокну того же оптического кабеля.

В связи с указанными выше небольшими размерами зоны обслуживания каждой базовой станции важное значение с точки зрения сроков практической реализации систем данного класса приобретают ее экономические характеристики. Определяющее влияние на их улучшение оказывает принятая в системе схема транспортировки электрического сигнала по волоконному кабелю между ЦС и БС, возможные варианты которой сопоставлены в табл. 2. Для возможности количественного анализа примем широко распространенную в современных сетях пропускную способность системы 1 Гбит/с (например, по стандарту Gigabit Ethernet).

Таблица 2. Возможные схемы транспортировки информационного сигнала

Вариант передачи	В полосе модулирующих частот	В полосе промежуточных радиочастот	В полосе несущих радиочастот
Тип ВОСП	Цифровая	Аналоговая	Аналоговая
Верхняя частота модуляции, ГГц	1	6	40
Относительная полоса пропускания, %	100	30	5

Требования к отношению сигнал/шум	Низкие	Высокие	Высокие
Требования к линейности аппаратуры	Низкие	Высокие	Высокие
Сложность схемы (стоимость) ЦС	Низкая	Средняя	Высокая
Сложность схемы (стоимость) БС	Высокая	Средняя	Низкая

Из таблицы можно сделать следующие выводы:

- Для реализации первого варианта транспортировки сигнала необходимо использовать цифровую ВОСП, а второго и третьего вариантов – аналоговую ВОСП с присущей ей более высокими требованиями к отношению сигнал/шум и линейности аппаратуры [7].
- Значение верхней частоты модуляции во втором и, особенно, в третьем варианте существенно выше по сравнению с первым, что ужесточает требования к электронной и оптоэлектронной компонентной базе аппаратуры ЦС и, в итоге, к ее стоимости.
- Значение ширины полосы пропускания канала передачи для второго и третьего вариантов существенно ниже по сравнению с первым вариантом, что упрощает схемы усилительно-преобразовательных узлов аппаратуры ЦС и БС и, в итоге, улучшает их экономические характеристики.
- Вариант с передачей в полосе несущих радиочастот реализуется с наименьшим числом преобразований на БС, что в целом минимизирует ее стоимость, а следовательно, и стоимость всей системы абонентского доступа.

Заключение

Анализ принципов построения и функционирования современных сетей абонентского доступа показал актуальность развития волоконно-эфирных телекоммуникационных систем (класса RoF) для обеспечения потребности мобильных абонентов в высокоскоростных цифровых соединениях различного контента, а также потребности упростить соединения с терминалами стационарных абонентов за счет беспроводной технологии. Рассмотрение конкретных вариантов построения линейного тракта системы передачи информации показало, что вариант с передачей в полосе несущих радиочастот реализуется с наименьшим числом преобразований на базовой станции, что в целом минимизирует ее стоимость, а следовательно, и стоимость всей системы абонентского доступа.

Настоящая работа выполнена в рамках тематического плана проведения научных исследований Министерства образования и науки РФ на 2009-2010 г.г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгак В. Б., Варакин Л.Е., Ивашкевич Ю.К. и др. Концепция развития связи Российской Федерации, - М.: Радио и связь, 1995. - 224 с.
2. Kim. G. Hybrid fiber/coaxial-cable networks pass telephony reliability standards. Lightwave, Oct. 1995.

3. Белкин М. Е. Концепция построения сети абонентского доступа на базе волоконно-коаксиальных распределительных сетей. - Электросвязь, 1998, № 1, с. 8-15.

4. O'Mahony M.J., e.a. Future optical networks. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 2006, v. 24, No. 12, p. 4684-4696.

5. Niiho T., Nakaso M., Masuda K., e.a. Transmission performance of multichannel wireless LAN system based on radio-over-fiber techniques. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, MTT-54, № 2, part 2, p. 980-989.

6. Distributed antenna system. / Alan J. Powell, Seale Nr. Farnham – Патент США № 4916460 от 10.04.1990 г.

7. Белкин М.Е., Засовин Э.А. Разработка аппаратуры многоканальных аналоговых ВОСП для телекоммуникационных и радиолокационных применений. Радиотехника, 2007, № 9, с. 26-33.