

Практическое занятие 6

Одночастотные сети вещания в стандарте DVB-T

Для одночастотной сети (SFN – Single Frequency Network) типичным видом эхо-сигналов являются сигналы от соседних передатчиков, работающих на одной и той же частоте и передающих одинаковые символы COFDM. Эти эхо-сигналы не создадут помех, если будут поступать в приемник в период защитного интервала (работа приемник передатчик). Чем больше защитный интервал, тем больше допустимое расстояние между передатчиками. С другой стороны, длительность защитного интервала не следует выбирать большой, так как это приведет к уменьшению объема передаваемой информации. В ряде случаев оказывается выгодным использовать несколько близко расположенных маломощных передатчиков вместо одного мощного, при котором не удастся избежать зон неуверенного приема в общей зоне обслуживания.

Эффективное использование защитного интервала возможно только при жесткой временной синхронизации всех передатчиков сети. Как и в случае сетей с обычным частотным планом, рабочая частота каждого передатчика должна контролироваться и поддерживаться с высокой точностью. Но в случае одночастотной сети требования к точности и стабильности рабочей частоты значительно возрастают (не хуже 1 Гц). Важно также строго синхронное излучение всеми передатчиками одного и того же символа.

Все передатчики должны быть синхронизированы приемниками GPS.

Планирование сети (выбор мощности и местоположения передатчиков, диаграммы направленности антенных систем и т.д.) должно быть выполнено таким образом, чтобы уменьшить до минимума возможные области интерференции.

Сеть должна быть оптимизирована регулировкой защитного интервала для того, чтобы свести интерференцию в зонах взаимного влияния передатчиков к минимуму.

Для одночастотной сети (SFN – Single Frequency Network) типичным видом эхо-сигналов являются сигналы от соседних передатчиков, работающих на одной и той же частоте и передающих одинаковые символы COFDM. Эти эхо-сигналы не создадут помех, если будут поступать в приемник в период защитного интервала (работа приемник передатчик). Чем больше защитный интервал, тем больше допустимое расстояние между передатчиками. С другой стороны, длительность защитного интервала не следует выбирать большой, так как это приведет к уменьшению объема передаваемой информации. В ряде случаев оказывается выгодным использовать несколько близко расположенных маломощных передатчиков вместо одного мощного, при котором не удастся избежать зон неуверенного приема в общей зоне обслуживания.

Эффективное использование защитного интервала возможно только при жесткой временной синхронизации всех передатчиков сети. Как и в

случае сетей с обычным частотным планом, рабочая частота каждого передатчика должна контролироваться и поддерживаться с высокой точностью. Но в случае одночастотной сети требования к точности и стабильности рабочей частоты значительно возрастают (не хуже 1 Гц). Важно также строго синхронное излучение всеми передатчиками одного и того же символа. Нетрудно заметить, что при недостаточной синхронизации символ, передаваемый одним передатчиком, сместится во времени относительно остальных, а это эквивалентно уменьшению на такую же величину защитного интервала (напомним, что максимальная удаленность между передатчиками равно произведению длительности защитного интервала на скорость света). Защитный интервал должен быть временным резервом для борьбы с эхо-сигналами, а не средством компенсации погрешностей синхронизации передатчиков. На практике для синхронизации работы одночастотных сетей используется всемирная сеть определения местоположения объектов GPS. Высокоточный опорный импульс, генерируемый раз в секунду приемником GPS, вводит в каждом передатчике COFDM сети временную метку, от которой ведется отсчет всех временных интервалов.

Сеть должна быть оптимизирована регулировкой защитного интервала для того, чтобы свести интерференцию в зонах взаимного влияния передатчиков к минимуму.

Согласно стандарту для нормального функционирования одночастотной сети должны быть выполнены следующие условия:

-Каждый передатчик SFN должен передать точно тот же Транспортный Поток (TS - цифровой поток данных, который содержит программы) и излучать его синхронно с другими передатчиками.

Главная особенность что позволяет в сети SFN избежать взаимного влияния в зонах, где накладываются сигналы - защитный интервал.

Защитный интервал - временной интервал, после передачи каждого символа, в течение которого передатчик не излучает никакого полезного сигнала. Это позволяет приемопередатчику, синхронизированному с передатчиком не принимать сигналы в течение защитного интервала. Таким образом, приемопередатчики, не поддаются возможным "наложениям" символов, которые могли бы сделать полученный сигнал невозможным для демодуляции даже если его уровень будет достаточным.

Чем больше длительность защитного интервала, тем больше времени, чтобы гасить нежелательные помехи эха. Но при этом ниже количество данных, которые могут быть переданы (скорость передачи Bit rate – определяет число и/или качество программ).

Защитный интервал может быть установлен от нескольких микросекунд до более чем 200 микросекунд, чтобы гасить отраженные сигналы, которые прибывают от разных передатчиков, как близко расположенных, так и расположенных на расстоянии до 70 км.

Таким образом защитный интервал, обеспечивая необходимое качество работы в условиях отраженных сигналов (эхо-помех), приводит к снижению информационной скорости в канале.

Цифровые одночастотные сети (SFN) предъявляют высокие требования к точности/стабильности частоты. В частности, если для передатчиков многочастотных сетей (MFN) нормой является отклонение в 100 Гц, то для передатчиков SFN точность должна быть намного больше. В сетях SFN все передатчики должны быть синхронизированы на одной частоте, что обычно, обеспечивается сигналом спутниковой навигационной системы GPS. Сигнал, излучаемый спутниками GPS может быть получен почти всюду в мире и содержит очень точную информацию времени.

Точность/стабильность частоты при этом будет иметь порядок величины 1 Гц.

Таким образом, схема доставки сигналу к передатчикам SFN в значительной степени влияет не только на стоимость услуги сети SFN, но и на качество ее функционирования.

"Золотое правило" одночастотной сети включает следующее:

Каждый передатчик одночастотной сети повинен излучать:

- На одной и той же частоте
- В один и тот же момент времени
- Одинаковые биты данных.

Эти положения "золотого правила" являют собой также и основные ограничения одночастотной сети, которые оказывают непосредственное влияние на организацию сети передачи:

необходимо осуществлять синхронизацию каждого передатчика одночастотной сети и во времени и по частоте.

Развертывание сети эфирного телевизионного вещания является назревшей проблемой.

Следует проанализировать разные методы доставки информации : радиорелейные линии связи, оптоволоконные каналы, спутниковые каналы и разные форматы : DVB - S, DVB - T и т.д..

В частности, использование спутникового канала рассмотрено на базе полученного автором патента. Принятие на уровне Кабинета министров решения о развертывании в Украине одночастотной сети стандарту DVB - T (сеть SFN) делает доставку контента к передатчикам этой сети.

Принципиально возможно исполнение SFN по трем вариантам:

Перетрансляция сигнала из одной зоны в другую посредством простейшего переусиления по ВЧ (рис.1). В этом случае в составе SFN сети используется единственный универсальный COFDM кодер (DVB-T модулятор). Такой радиорелейный способ трансляции сигнала хорошо известен читателям по аналоговому TV вещанию, в значительной степени отражен в более ранних публикациях и не нуждается в пояснениях.

Второй вариант использует аналоговое распределение по ПЧ (например, посредством ВОЛС) COFDM сигнала к каждому из передатчиков (рис.2). При этом также в сети используется единственный COFDM кодер.

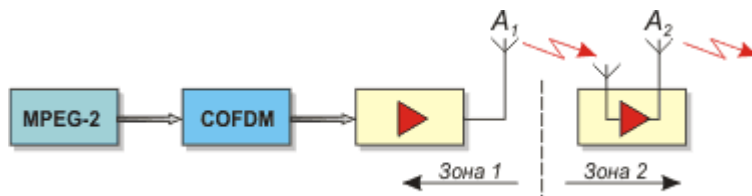


Рис.1

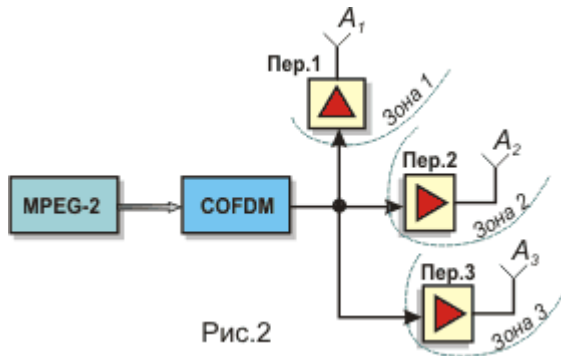


Рис.2

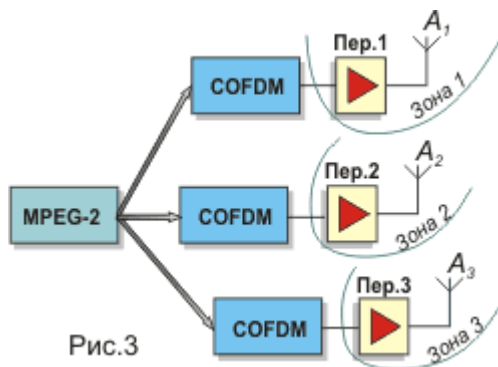


Рис.3

В третьем варианте (рис.3) предусматривается цифровое распределение самого исходного MPEG потока (TS) по любой из имеющейся транспортной сети (например, PDH, ATM, SDH и т.п.). В этом случае число передатчиков эквивалентно числу COFDM кодеров. Такая технология – самая сложная, но в тоже время и самая совершенная, гибкая и мощная. Она может использоваться в комбинации с любой из двух выше упомянутых альтернативных технологий, или в сочетании с обеими сразу. Именно эта перспективная цифровая технология распределения MPEG сигнала к целому семейству одночастотных DVB передатчиков будет рассматриваться далее по тексту.

Ограничения SFN. Как было отмечено выше, для одночастотной технологии необходимо, чтобы сигнал, принимаемый от любого передатчика, был идентичен с эхо-сигналом, полученным от любого другого передатчика данной сети. Как следствие, все связанные сигналы данной SFN должны быть идентичными, т.е. должны быть синхронизированы по времени, по частоте и на уровне передачи битов. Рассмотрим эти важные составляющие более детально.

Частотная синхронизация. COFDM сигнал состоит из множества параллельных несущих, и каждая из этих тысяч несущих, передаваемая целым семейством передатчиков, работающих в единой SFN, должна излучаться на одной и той же высокой частоте. Требуемая точность частоты зависит от частотного интервала между соседними несущими, который часто именуется как “разнос несущих частот”, обозначается Δf . Если через f_k обозначить идеальную позицию k^i несущей в спектре ВЧ несущей, то каждый из передатчиков должен излучать эту k^i несущую с допуском не хуже:

$$\delta f = f_k + \Delta f / 1000, \quad (1)$$

что подтверждается практическими испытаниями.

Для выполнения этого требования все каскадно включенные гетеродины передатчика (от базовой полосы baseband до выходной частоты) должны иметь допуск по стабильности не хуже, чем это определено (1). Так, если разнос несущих частот для режима 8k составляет 1116 Гц (табл.1 в [1]), то стабильность частоты должна быть не хуже 1,1 Гц (для режима 2k – 4,5 Гц). Такая стабильность достигается проще за счет использования гетеродинов с внешним генератором опорного сигнала. В качестве генераторов синхронизирующих импульсов используют сигналы с GPS (Global Positioning Satellite – спутник глобального местонахождения), как показано на рис.5



Временная синхронизация. Системы COFDM предусматривают возможность пересечения зон покрытия от разных передатчиков без появления помех. Причем, в пределах определенной зоны наложение сигнала от дальнего передатчика не создает помех, а, напротив, усиливает полезный сигнал. Такой эффект возможен только при временной синхронизации всех передатчиков SFN, т.к. один и тот же символ должен излучаться в один и тот же момент из нескольких мест, независимо от временной задержки, вводимой магистральной распределительной сетью (MPC). Из-за наличия определенной величины длительности защитного интервала (ΔT) требуемая точность синхронизации не очень высока. Считается, что точность временной синхронизации с разбросом в пределах ± 1 мкс является вполне достаточной.

Тем не менее, следует отметить встречающиеся практические случаи работы SFN, связанные с неизбежным наличием эхо-сигналов. В частности, когда временная задержка эхо-сигналов превышает длительность защитного интервала, будет наблюдаться эффект очень быстрой деградации рабочих характеристик, обязанной двум причинам:

- Нарушается правило ортогональности из-за межсимвольных помех, что приводит к резкому увеличению вероятности ошибки (BER). Разумеется, что большее значение BER будет соответствовать более высокой скорости передачи цифрового потока, т.е. режиму 64 QAM, а не QPSK.

- При наличии эхо-сигналов, задержанных свыше четверти полезной длительности ΔT_v , детектор приемника не в состоянии правильно его распознать. Следует помнить, что режим $\Delta T_v/4$ является предельным [1] в части предоставления предельно допустимых скоростей, однако, наиболее защищенным в части эхо-сигналов.

Как следствие, фактическая зона покрытия набором SFN передатчиков строго зависит от рабочих характеристик подсистемы временной синхронизации. Всякое смещение синхронизации в конкретном узле сети можно рассматривать как изменение зоны покрытия или, что фактически эквивалентно, изменение требуемого C/N на входе приемника.

Битовый уровень синхронизации. Излучение одного и того же символа в одно и то же время требует, чтобы все несущие были тождественно модулированы. Следовательно, одни и те же биты должны модулировать ту же самую k_i несущую. Допуск по этой норме – нуль.

Синхронизация энергетической дисперсии. Данные MPEG-2 TS, поступающие на вход модулятора, скремблируются (рандомизируются). Это обеспечивает выравнивание спектра радионесущей и устойчивость тактовой синхронизации приемника. Скремблирование осуществляется за счет логического сложения информационных данных транспортных пакетов с псевдослучайной последовательностью (PRBS). Генератор псевдослучайной последовательности перезапускается через каждые восемь пакетов. Для обеспечения идентичности скремблированных потоков, передаваемых всеми модуляторами, PRBS также должен формироваться идентичным образом.

Сетевые требования. Как уже отмечалось ранее, все сетевые адаптеры (см. рис.4) должны удовлетворять требованиям стандарта **CENELEC EN 50083-9: «Cable networks for television signals, sound signals and interactive services — Part 9: Interfaces for CATV/SMATV headends and similar professional equipment for DVB/MPEG-2 transport streams».**

Ниже же будут рассмотрены временные проблемы, возникающие в MPC при доставке MPEG пакетов.

Максимальное время прохождения сигнала в сети – это разность между временем прохождения сигнала от мультиплексера через сеть до самого ближайшего передатчика и временем прохождения того же самого сигнала до самого удаленного передатчика. Эта разность во времени будет зависеть в основном от технологии исполнения SFN. Наиболее вероятно, что максимальная разница во времени будет наблюдаться в смешанных сетях, например, когда MPEG-2 TS до одних передатчиков будет доставляться посредством ВОЛС, а до других передатчиков – посредством спутниковой линии связи. Однако, очень маловероятно, чтобы разница во времени превышала хотя бы одну секунду.

Стабильность времени прохождения сигнала. Время прохождения сообщения в пределах рассматриваемой ветви сети не обязательно постоянное. Например, положение спутника на геостационарной орбите не является абсолютно устойчивым и колеблется в пределах куба около 75 км^3 в течение одного месяца. Поэтому, время прохождения сигнала по спутниковой линии связи может изменяться на ± 250 мкс, что много больше допуска. Такую особенность необходимо учитывать при рассмотрении механизма сетевой временной синхронизации, который должен быть терпимым к нестабильности времени прохождения сигнала.

Вариант абсолютной системы отсчета времени. В SFN сети все модуляторы питаются от единого мультиплексера (рис.11) через MPC, которая неизбежно вносит временную задержку. Она будет разной у всех передатчиков в силу их разной удаленности от мультиплексера даже при единой технологии распределения сигнала (например, ВОЛС). В силу этого имеется потребность во внешнем абсолютном провайдере времени, способным предложить каждому участку сети генератор синхросигналов с точностью не хуже 1 мкс. Для этой цели наилучшим источником оказался GPS. Для реализации единой временной синхронизации сети в состав каждого из DVB-T модулятора включают специальный GPS приемник, обеспечивающий как опорную частоту (10 МГц), так и опорную фазу абсолютного времени.

В части временной синхронизации добавим, что стандартом [3] предусмотрено множество различных конфигураций модуляторов, в силу чего применительно к SFN трудно гарантировать, что конфигурация всех COFDM кодеров позволит им работать синхронно. Для устранения такой проблемы вводится дистанционное управление кодерами сети с центральной станции, где размещен общий для них мультиплексер. Управление может быть реализовано, например, путем внедрения соответствующих данных в MPEG пакеты. Для целей синхронизации и координации работы всех передающих станций в транспортный поток вводится новая структура – мега-фрейм.

Доставка телевизионного контента к передатчикам одночастотной (синхронной) сети.

Основные аспекты магистрального распределения цифровых сигналов базируются на существующих известных технологиях доставки цифровых или аналоговых TV сигналов. Магистральная распределительная сеть – MPC (иногда именуется транспортной сетью) отвечает за доставку цифрового TV сигнала от источника его формирования (распределения) до передающих вещательных DVB-T/H центров (а также вторичных центров). Рассмотрим кратко возможные способы магистрального распределения сигналов; практические сети могут использовать комбинацию из описанных возможностей. Прежде всего следует отметить, что существует централизованное и децентрализованное формирование самого COFDM сигнала.

Централизованное формирование COFDM сигнала подразумевает использование одного единственного (центрального) COFDM профессионального модулятора с широкими функциональными возможностями и высокими техническими параметрами. Модулированный COFDM сигнал распределяется к передатчикам посредством СВЧ радиорелейных линий передач (в английской аббревиатуре SHF – Super High Frequency – сверхвысокая частота диапазона 3 – 30 МГц) с частотной модуляцией. Такие линии, обычно используемые для аналоговых PAL и SECAM сигналов, могут использоваться и для COFDM сигналов на расстояниях обычно до 20 км. Такие СВЧ линии обычно модернизируются в рабочей полосе частот для исключения ранее введенных предискажений и улучшения параметров местных гетеродинов в части снижения фазовых шумов. Для централизованного распределения COFDM модулированного сигнала также технически возможно использование и аналогового спутникового вещания.

Децентрализованное формирование COFDM сигнала подразумевает непосредственное распределение MPEG-2 TS ко всем модуляторам в сети. MPC может использовать наземные или спутниковые линии связи, включая в себя точки перемultipлексирования пакета MPEG-2, например, с целью включения в него разнообразных региональных программ. При проектировании такой MPC необходимо учесть требования синхронизации. Очевидно, что существует множество MPC, пригодных для децентрализованного формирования COFDM сигнала.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) являются удобным, экономичным и надежным средством доставки цифровой информации на расстояниях до 100 км и даже более. Использование канального кода bi-phase-mark, оговоренного спецификацией Европейского стандарта CENELEC для DVB профессионального интерфейса (DVB-PI), обеспечивает хорошие передаточные характеристики при удвоении скорости передачи. На коротких расстояниях (до 3 км) может использоваться многомодовое оптическое волокно (ОВ) со светодиодом или лазерным передатчиком. На более длинных дистанциях обязательно использование только одномодового ОВ с лазерным передатчиком на длине волны 1310 или 1550 нм. Максимальная протяженность ВОЛС будет определяться вносимыми искажениями.

PDH сеть (плезиохронная цифровая иерархия) разрабатывалась для оцифрованных сигналов, базирующихся на 64 кбит/с. Рекомендация ITU-T G.703 [8] определяет интерфейсы на различных иерархических уровнях; интерфейс на 34,368 Мбит/с соответствует TS. Интерфейс между DVB транспортными потоками и PDH сетями определен в европейском стандарте по связи ETS 300 813.

SDH сеть (синхронная цифровая иерархия) – более новая альтернатива PDH, использующая упрощенную технологию мультимultipлексирования и демultipлексирования, и предлагающая улучшенные возможности сетевого менеджмента. Для Европы сетевым интерфейсом является STM-1 с уровнем в 155,52 Мбит/с.

АТМ сеть (режим асинхронной передачи) также может быть использована для МРС. АТМ использует технологию ячеичного мультиплексирования и может пролонгировать различные типы транспортных сетей, включая PDH и SDH. АТМ ячейки состоят из 5-октетного заголовка, сопровождаемого 48-октетной полезной нагрузкой. Для возможности передачи различных типов сигналов по АТМ сетям, определено пять различных уровней адаптации АТМ (AALs). Для передачи MPEG-2 TS могут использоваться уровни AAL1 и AAL5. Главное различие заключается в том, что AAL1 включает методики обнаружения ошибок и исправления, тогда как в AAL5 этого нет. Сетевой адаптер, определяемый DVB для адаптации к PDH и SDH сетям, базируется на адаптации MPEG-2 TS в ячейки АТМ, используя AAL1, а затем приспособляет АТМ ячейки к PDH и SDH кадрированию. Таким образом, эти технические требования для привязки к PDH и SDH сетям могут использоваться для адаптации к АТМ сети.

SAT распределение также может быть использовано для доставки MPEG-2 TS. При этом следует использовать спецификацию DVB-S. Может быть использован и более перспективный стандарт DVB-S2.

Следует сказать несколько слов о МРС для случая иерархической модуляции, которая предусматривает два отдельных транспортных потока с высоким (HP) и низким (LP) приоритетами. В случаях, когда два потока формируются на одном и том же участке, вероятно, с коммерческой точки зрения, желательна их передача по единой схеме, что должно минимизировать затраты. Использование условного MPEG мультиплексера для объединения двух транспортных потоков следует избегать, поскольку это неизбежно приведет к сложному управлению PID конфликтами, а также другим проблемам. Действительно, для случая SFN сети, MPEG мультиплексирование не может использоваться, т.к. оно не детерминировано и не может гарантировать разрядно-идентичные потоки на всех местоположениях в SFN.

Например, транспортировка двух транспортных потоков может быть достигнута при помощи двух виртуальных схем в АТМ сети. Однако, могут быть случаи, когда желательно переносить два транспортных потока (HP и LP) по единственному ASI интерфейсу (например, линия спутниковой связи), используя единственную несущую. В этом случае целесообразно достигать требуемого комбинирования и разделения, туннелируя два транспортных потока, как частные данные, в пределах третьего транспортного потока, действующего как контейнер для двух других.

В заключение отметим, что скорость транспортного потока MPEG-2 TS должна быть приведена в соответствие со скоростью передачи COFDM модулятора. Это обеспечивается синхронизацией работы мультиплексера и модулятора, которая может быть реализована четырьмя способами:

Синхронизация работы обоих устройств осуществляется модулятором, который снабжает мультиплексер тактовыми сигналами. Этот способ наиболее прост в реализации, но требует, чтобы мультиплексер находился в непосредственной близости от модулятора.

Мультиплексер и модулятор имеют независимые системы синхронизации. В этом случае перед модулятором устанавливается несложный ремультимплексер, адаптирующий скорость входного потока MPEG-2 TS за счет введения нулевых пакетов. Эта процедура требует коррекции меток PCR. Кроме того, максимальная скорость потока, формируемого основным мультиплексором, должна быть ограничена в соответствии с рабочей скоростью модулятора. Несмотря на гибкость такого метода синхронизации, он является неэкономичным в части поддержания предельных скоростей из-за значительного количества нулевых пакетов. При объединении модуляторов в одночастотную сеть, введение нулевых пакетов и коррекция меток PCR реализуется у них централизованно, специально предназначенным для этого модулем.

В качестве синхронизирующего устройства выступает мультиплексер. В этом случае модулятор должен быть снабжен большим входным буфером, а его выходная тактовая частота должна изменяться в зависимости от заполнения буфера.

Оба устройства могут синхронизироваться от внешнего источника, например, от генератора опорной частоты 10 МГц, используемого в GPS.

Рассмотрим конкретное техническое решение, позволяющее использовать РРЛ для доставки контента, предложенное в книге

«DVB-T Цифровое наземное телевизионное вещание. Пособие для специалистов» Роберто Валентин, директор компании ABE ELETTRONICA, Италия:

Применение цифрового телевидения в наземном телевизионном вещании представляет новые технологические возможности, которые должны быть полностью поняты, чтобы лучше всего использовать этот мощный инновационный инструмент. Одночастотные сети (Single Frequency Network - SFN) существенное преимущество, предлагаемое цифровой модуляцией COFDM, используемой в стандарте DVB-T. Здесь, мы можем иметь множество передатчиков, которые покрывают смежные области, и работают на одной частоте, передавая одинаковые программы. При этом использование всего одного канала излучения происходит без взаимного влияния, значительно экономя частотный ресурс. Одночастотные сети используются в Англии, Швеции, Испании и Франции. Они представляют собой отнюдь не лабораторный интерес: это - испытанный и эффективный способ эксплуатации сети вещания в реальных условиях.

Одночастотную аналоговую сеть вещания сделать фактически невозможно. В аналоговых системах, используя технологию смещения несущей частоты, теоретически можно уменьшить интерференцию в пределах зоны действия каждого передатчика по отношению к передатчикам, покрывающим смежную область. Однако, на практике появляются области существенного влияния, в которых качество сигнала ухудшается значительно, даже в случае чрезвычайно хорошо запланированных зон покрытия и применения направленных антенных систем.

Цифровые одночастотные сети (SFN) построены следующим образом. Прежде всего, особые требования предъявляются к точности/стабильности частоты. Для передатчиков многочастотных сетей (MFN) нормой является отклонение в 100 Гц, а для передатчиков SFN точность должна быть намного больше. В сетях SFN все передатчики должны быть синхронизированы на одной частоте, что обычно обеспечивается сигналом спутниковой навигационной системы GPS. Сигнал, излучаемый спутниками GPS, может быть получен почти всюду в мире и содержит очень точную информацию времени. Точность/стабильность частоты при этом будет иметь порядок величины 1 Гц.

Каждый передатчик SFN должен передать точно тот же самый Транспортный Поток (TS - цифровой поток данных, содержащий программы) и излучать его синхронно с другими передатчиками. Внутри Транспортного Потока, обычно при генерации в Мультиплексоре, цифровой поток данных разделяют на "Мегаструктуры", и в них добавляются данные MIP (Пакет Инициализации Мегаструктуры - MIP), чтобы синхронизировать излучение каждого передатчика в сети. Синхронизация достигается благодаря сигналу частотой 1 Гц (1pps - 1 импульс в секунду) принимаемый приемниками GPS.

Теперь сигналы всех передатчиков излучаются синхронно на одной частоте и имеют одинаковые биты данных.

Для одночастотной сети вещания главным достоинством цифровой модуляции COFDM является успешная борьба с эхо-сигналами, которые могут возникать из-за отражений от окружающих предметов или при работе нескольких передатчиков на одном и том же радиочастотном канале. Собственно говоря, система COFDM способна использовать с выгодой некоторые виды эхо-сигналов (т.е. те, которые усиливают принимаемый сигнал) и игнорировать эхо-сигналы, которые сказываются отрицательно на полезном сигнале.

Главная особенность, позволяющая в сети SFN избежать взаимного влияния в зонах, где накладываются сигналы – защитный интервал.

Защитный интервал - временной интервал, после передачи каждого символа, в течение которого передатчик не излучает никакого полезного сигнала. Это позволяет приемнику, синхронизированному с передатчиком не принимать сигналы в течении защитного интервала. Таким образом, приемники, не подвержены возможным "наложениям" символов, которые могли бы сделать полученный сигнал невозможным для демодуляции, даже если его уровень будет достаточно хорошим.

Чем длиннее защитный интервал, тем больше времени, чтобы гасить нежелательное эхо. Но при этом ниже количество данных, которые могут быть переданы (скорость передачи Bit rate - число и/или качество программ).

Защитный интервал может быть установлен от нескольких микросекунд до, более чем 200 микросекунд, чтобы гасить отраженные сигналы, прибывающие от разных передатчиков, как близко расположенных, так и расположенных на расстоянии до 70 км. Электромагнитные волны

распространяются со скоростью света; то есть приблизительно 300 м. в 1 микросекунду.

В режиме 2К IFFT (модуляция OFDM с 1705 несущими), имеющем символьную скорость выше, чем в режиме 8 К IFFT (6817 несущих), возможные защитные интервалы имеют более короткую продолжительность, будучи всегда выраженными как доля продолжительности времени символа (1/4; 1/8; 1/16; 1/32). Поэтому в сетях SFN чаще используют режим 8 К IFFT с более длинными защитными интервалами.

Таб. 1. Различия между режимами 2К IFFT и 8К IFFT.

Пропорция между длиной защитного интервала и продолжительностью времени символа	Длина защитного интервала с 8К IFFT	Эквивалентное расстояние с 8К IFFT	Длина защитного интервала с 2К IFFT	Эквивалентное расстояние с 2К IFFT
1/4	224μs	67,2км	56μs	16,8км
1/8	112μs	33,6км	28μs	8,4км
1/16	56μs	16,8км	14μs	4,2км
1/32	28μs	8,4км	7μs	2,1км

Выбор величины защитного интервала для одночастотной сети оказывает решающее влияние на топологию сети: поскольку длительность интервала определяет допустимую для данной сети величину задержки эхо-сигнала, то она и определяет максимальное расстояние между передатчиками.

Таким образом, чтобы построить сеть одночастотную сеть цифрового вещания (SFN):

- Транспортный Поток должен быть сформирован мультиплексором, который, должен иметь приемник GPS (чтобы гарантировать точность частоты сгенерированных данных); и иметь возможность вставлять Пакеты Инициализации Мегаструктуры (MIP),

- Все передатчики должны быть синхронизированы приемниками GPS,

- Планирование сети (выбор мощности и местоположения передатчиков, диаграммы направленности антенных систем, и т.д.) должно быть выполнено, таким образом, чтобы уменьшить до минимума, возможные, области интерференции,

- Сеть должна быть "оптимизирована", регулировкой защитного интервала, чтобы свести интерференцию в зонах взаимного влияния передатчиков к минимуму.

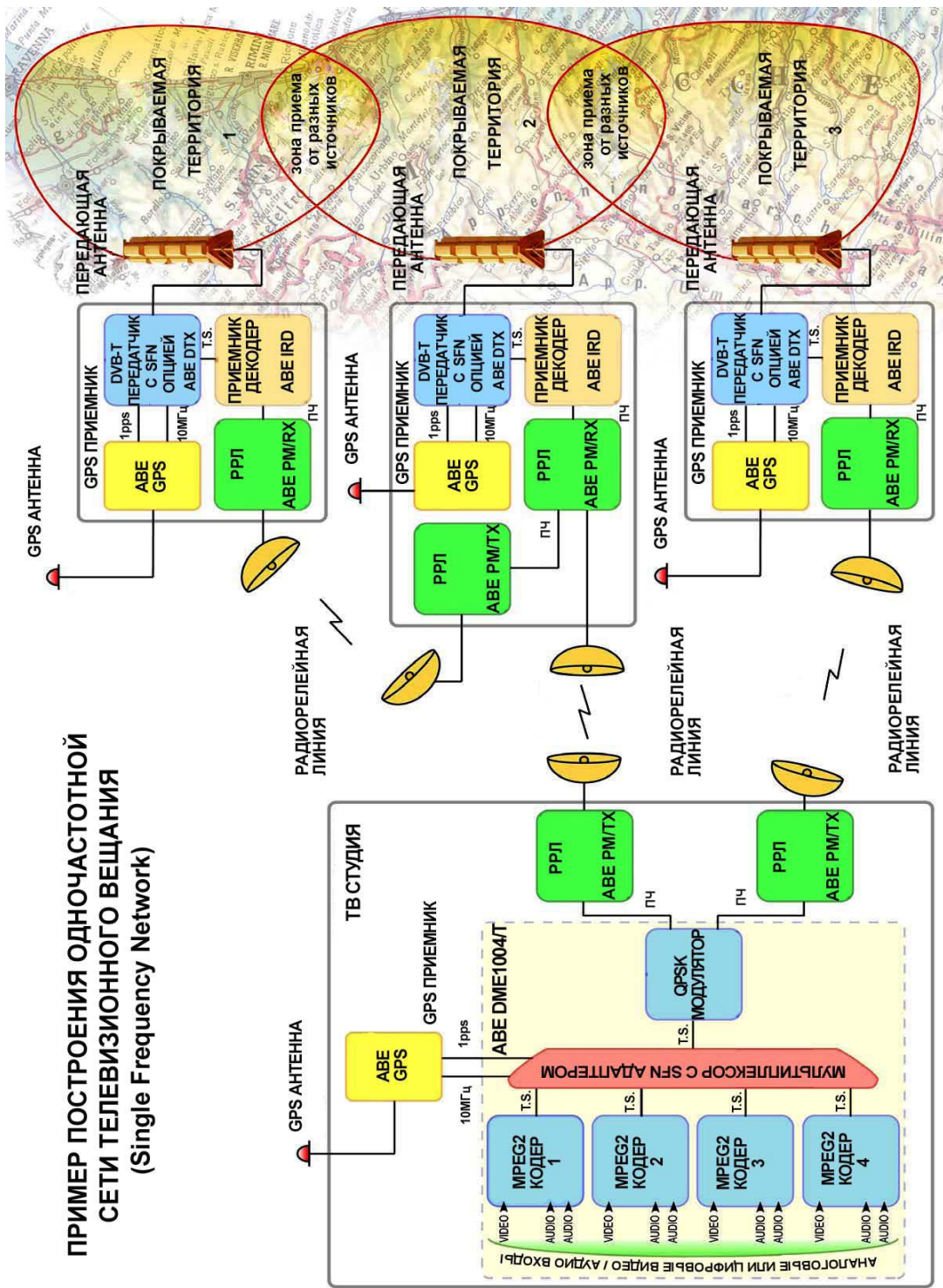


Рис.1 Пример построения одночастотной сети эфирного цифрового вещания (Single Frequency Network).

Рассмотрим техническое решение для использования спутникового ресурса для доставки контента к передатчикам синхронной сети согласно

патенту «Патент Украины "Система передачи контента к передатчикам синхронной сети DVB-T" №29161, решение от 12 ноября 2007 г. №28646/1.

Развертывание одночастотной сети эфирного цифрового вещания в Украине

Согласно концепции каждой sfn выделяется по 5 частот:

3 - по одному мультиплексу на каждой несущей, доставляемому из Киева в стандарте MPEG-2

1 - мультиплекс, доставляемый из Киева в стандарте MPEG-4 (в последнее время рассматривается использование формата MPEG-4 на всех частотах).

1 - для создания собственного внутрисетевого мультиплекса

Общая возможная схема построения такой сети показана на Рис.2.

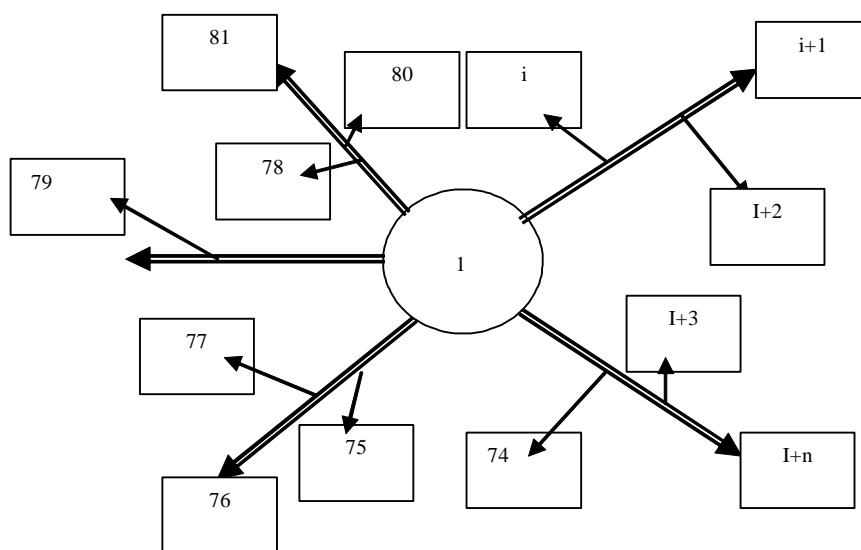


Рис.2

Здесь

1 – головная станция сети (ГС)

2...6 – передатчики сети (ПС)

⇒ – каналы доставки контента до головной станции

На головной станции 1 формируются мультиплексы, которые передаются на остальные передатчики сети (считается, что общее число передатчиков составляет 6, каждый из которых обслуживает свою зону указанной одночастотной сети).

Доставка контента от ГС до ПС возможна по способу, прямого переусиления (как самого простого и дешевого).

Рассмотрим вариант доставки контента до головных станций сети по магистральным каналам РРЛ (схема показана на Рис.3)

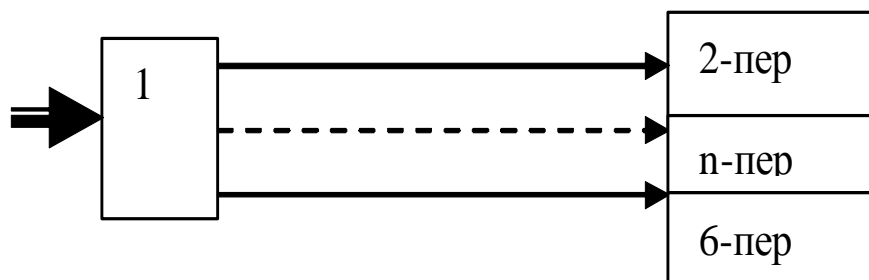


Рис.3. Организация доставки контента в одной зоне

Здесь:

1 – источник контента

2...81 – головные станции синхронных сетей

==> – каналы магистральной сети

- -> – каналы зононой сети

В головные станции 81 синхронных сетей (согласно концепции) с использованием каналов магистральной (МС) и зононой сети (ЗС) подаются 4 мультиплекса, определенные концепцией предоставления услуг цифрового эфирного телевидения, от станции формирования контента. Каналы ЗС обеспечивают доступ оборудования головных станций к ресурсу МС.

Наиболее рациональным является передача общего пакета программ в составе единого потока с использованием каналов транспортной сети SDH, что позволит максимально эффективно использовать радиочастотный ресурс – минимальное используемое число частот и минимальное значение полосы частот.

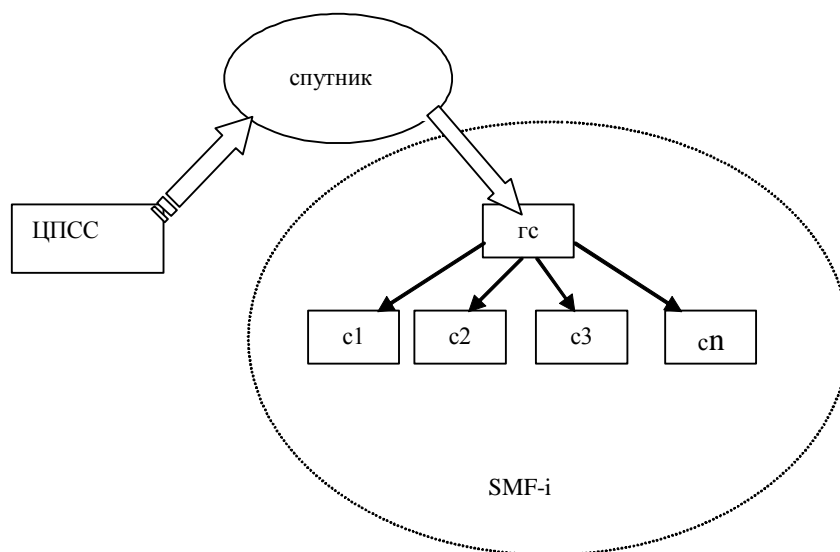


Рис.4. Доставка ТВ программ в *i*-ую SMF сеть через головную станцию одночастотной сети

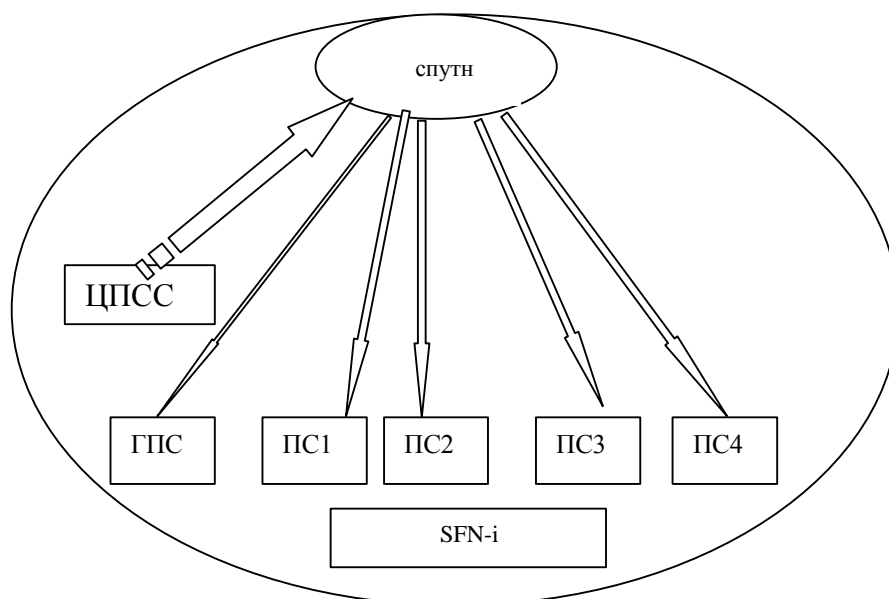


Рис.5. Доставка ТВ программ в *i*-ую SFN сеть ко всем передающим станциям одночастотной сети

Сегодня на магистральных направлениях имеются РРЛ типа "Курс" – передача аналогового ТВ сигнала с частотной модуляцией.

Передача по таким РРЛ возможна с использованием двойной модуляции (техническое решение приведено в патенте №11635 от 16.01.2006)

Однако, такое техническое решение не может являться общим решением, а решает задачу использования существующего парка аналоговых РРС. При этом оно позволяет снизить требования к уровню излучаемого сигнала (из-за снижения пик фактора практически до единицы) и в принципе

не повышает пропускной способности, так как для реализации скольнибудь приемлемой помехоустойчивости требуется расширение спектра хотя бы в 2,5 раза.

Кроме того, поскольку в канале используется стандарт dVB-S, то, при использовании модуляции 64КАМ, в фазовом пространстве расстояние между символами составит около 7 град, т.е. ошибка в 3...4град может привести к ошибке в определении символа. Оговоримся, что эта ошибка однозначно произошла бы при чисто фазовой модуляции, но при КАМ реально в амплитудно-фазовом пространстве расстояние между символами будет несколько выше. Кроме того использование кода Грея сводит ошибку при перепутывании символов к минимуму, однако, дальнейшее повышение позиционности модуляции существенно повысит требования к тракту и к среде распространения, в частности, к стабильности частоты, линейности и т.д. для сведения к минимуму уменьшение эвклидова (кодowego) расстояния между символами. В патенте в разделе "пример применения" указывается 32КАМ и 64КАМ.

Дальнейшее повышение позиционности существенно понизит потенциальную помехоустойчивость (при 64КАМ расстояние между символами в двумерном пространстве составит 0,283, а при 256КАМ – 0,2), а значит и сильно повысит требования к тракту станции и каналу в целом.

При этом отметим, что снижение пик фактора (на величину около 6...7дБ в Гауссовом канале позволяет снизить и пиковый уровень сигнала на входе приемного тракта. Однако, при гауссовой помехе (где повышением энергетики можно скомпенсировать уменьшение расстояния) этот выигрыш может быть сведен практически к нулю.

Таким образом, рассматривать этот класс РРС для создания каналов передачи контента вряд ли оправдано.

Кроме того, при передаче в стандарте DVB-T, как в указано патенте полоса сигнала после первой модуляции 64КАМ составит 8МГц, и, значит, для передачи 4-х мультиплексов понадобится 4 частоты, что существенно удорожит стоимость передачи.

То же относится и к зонной сети.

Адаптация транспортного потока к sfn осуществляется на передающей стороне, сигнал передается в формате dVB-S, принимается приемниками этого стандарта на каждой передающей станции (передатчике) сети, дополнительно синхронизируется и ремодулируется (как показано в полученном автором патенте "Система передачі контенту до передавачів синхронної мережі DVB-T" №29161 зарегистрированном в Госреестре патентов Украины 10 января 2008 г (Заявка № и 2007 07542 "Система передачі контенту до передавачів синхронної мережі DVB-T" рішення від 12 листопада 2007 р. №28646/1).

Из преимуществ такой передачи можно отметить и экономию частотного ресурса государства, оплату пользования этим ресурсом, стоимость которого с каждым годом растет.

