

Концепция объединения систем радиовещания и радионавигации длинноволнового диапазона

В.Т. Поляков

АНО ВО РосНОУ, Москва, ул. Радио, 22.

Предложено объединить системы радиовещания и радионавигации длинноволнового диапазона, используя одни и те же антенны и передатчики, синхронизированные единым стандартом времени и частоты.

It is proposed to combine broadcasting and long-range radionavigation systems using the same antennas and transmitters synchronized by a single standard of time and frequency.

На огромных территориях России и прилегающих акваториях, в том числе и северных, необходимо решение многих проблем, среди которых:

- обеспечение населения текущей информацией и оповещение его в случае чрезвычайных ситуаций, что проще всего решается радиовещанием (РВ);
- определение координат и всепогодная навигация мобильных объектов, что невозможно без радионавигации (РН);
- доступность для организаций и населения службы единого времени (СЕВ).

Актуальность

Сейчас акцент делается на спутниковые системы РВ и РН, причем создаются они независимо. Перечисленные проблемы ими решаются, хотя и требуют огромных капиталовложений. Так, РВ со спутников (ИСЗ) ведется одновременно с телевидением (ТВ) с геостационарных ИСЗ на сантиметровых волнах и требует для приема специализированных установок (в просторечии «тарелок») с точностью наведения антенны порядка 1° и дорогой приемно-усилительной аппаратурой. Ни о какой портативности и мобильности при этом нет и речи. Прием сигнала с геостационарных ИСЗ, расположенных над экватором, затруднен в полярных и приполярных районах и невозможен в Арктике выше $75...80^\circ$ с.ш.

Спутниковая РН (ГЛОНАСС, GPS и т.д.) требует запуска и поддержания большого созвездия ИСЗ (24 и более), уязвима как со стороны ИСЗ, так и со стороны приемников, работающих на пределе чувствительности и подверженных влиянию как естественных, так и искусственных помех. При затенении неба (густой лес, узкие ущелья, под землей, под водой и в помещениях) спутниковые навигационные системы (РНС) неработоспособны.

Как и любая РНС (кроме радиопеленгации низкой точности), спутниковая требует высокоточной синхронизации «часов», т.е. задающих генераторов передатчиков на ИСЗ. Практически на ИСЗ устанавливаются атомные стандарты частоты, требующие непрерывной сверки и коррекции наземными службами. Использование спутниковых сигналов для СЭВ возможно, но затруднено значительными сдвигами частоты из-за эффекта Доплера при быстром движении спутника по орбите.

Альтернативой спутниковой могла бы стать наземная система РНС и СЭВ на длинных волнах (ДВ), особенности распространения которых в условиях Земли хорошо изучены за более, чем 100-летнюю историю радио и вполне прогнозируемы [1]. Более того, накоплен большой опыт разработки и использования ДВ РНС (Омега, Декка, Лоран и т.д.). СЭВ уже давно использует передачу точного времени (эталонных частот) на сверхдлинных волнах (СДВ). Так, в Москве излучается сигнал на частоте 66,6 кГц, в Иркутске – 50 кГц, в Майнфлингене (Германия) – 77,5 кГц и т.д. Эти сигналы взяты

от Государственных стандартов времени и частоты (ГСВЧ) и считаются наиболее точными [2, 3].

Суть предложения

Для уменьшения капитальных затрат на создание сетей РВ и РН имеет смысл их совместить. Сейчас ДВ РВ и РНС принадлежат разным ведомствам, разрабатываются и эксплуатируются независимо, но мощные передатчики практически одинаковы, а антенные системы тождественны! Для ДВ систем они требуют львиной доли затрат, почему их и не следует дублировать.

Ключевым моментом предложения является синхронизация всех оставшихся, реставрированных и вновь строящихся РВ передатчиков сигналом ведущих СДВ станций ГСВЧ. Синхронизация должна быть фазовой, и с предельно высокой точностью. РВ станции работают на разных частотах в международно-принятой сетке частот $9m$, где m – целое число. Путем умножения и деления частот задающего генератора (ЗГ) станции и принятого сигнала ГСВЧ частоты могут быть приведены к одной частоте сличения, на которой и производится фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) ЗГ.

Хотя точная синхронизация передатчиков и непростая задача, она решается на «слаботочковом» уровне в лабораторных условиях и не требует больших вложений и капитального строительства. Содержание РВ передач станций может быть одинаковым или разным, но автор категорически против передачи рекламы, разговорного жанра, попсы и низкопробной музыки. Формат радиостанции (РС) «Маяк», использовавшийся до 90-х годов (5 минут новостей, 25 минут музыки и позывные каждые полчаса), вполне пригоден.

Несущие колебания синхронизированных РВ станций служат основой РНС для неограниченного числа пользователей, имеющих радиоприемники с возможностью фазовых измерений. В зависимости от необходимой точности и сложности приемника могут использоваться разные методы РН: радиолога, дальномерный или разностно-дальномерный (гиперболический).

Поскольку несущие РС излучаются непрерывно, неприменим в чистом виде лишь импульсно-фазовый метод РН, т.к. импульсная модуляция несовместима с амплитудной модуляцией (АМ) РВ сигнала. Но и тут есть технические решения.

Для устранения фазовой неоднозначности в излучаемый РВ станциями сигнал вводятся метки времени в виде тональных посылок или музыкальных мелодий, фаза их спектральных составляющих также привязана к фазе несущей (тональная частота получается от несущей простым делением).

Из изложенного уже ясно, что в предложенной системе каждая РС, синхронизированная от ГСВЧ, служит вторичным эталоном, проблема СЭВ и стабилизации хода часов пользователя полностью решена и доведена почти до точности ГСВЧ, а их начальная установка производится по меткам времени. Кстати, именно так РС ГСВЧ в Майнфлингене синхронизирует все бытовые часы с управлением по радио в Европе (и даже в Москве, где каждую ночь, когда улучшается прохождение ДВ, немецкие радиочасы «отскакивают» на 2 часа назад на средневропейское время).

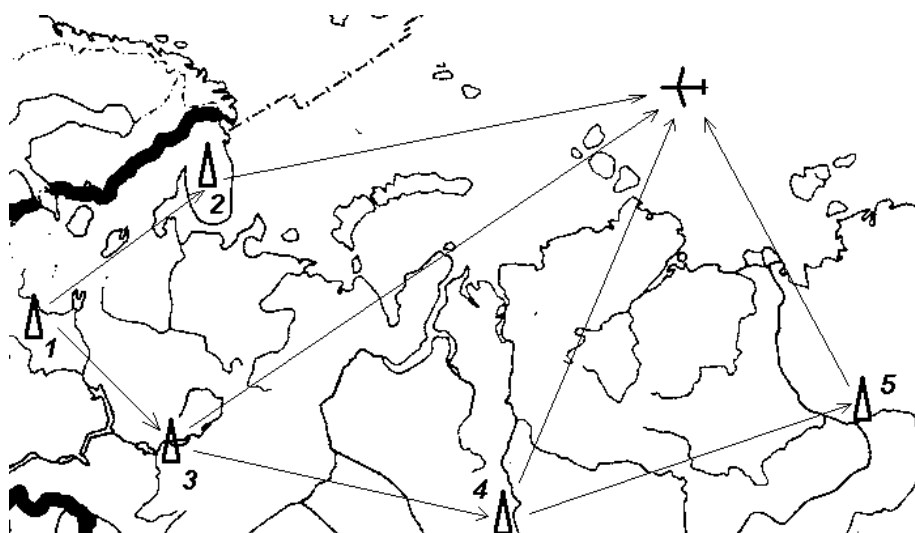


Рис. 1. Примерный вид системы. Цифрами обозначены: 1 - ведущая станция ГСВЧ, 2...5 – ведомые синхронизированные РВ и РНС станции. Тонкие стрелки показывают направление распространения сигнала

Предполагаемый вид системы показан на рис. 1. Для запуска системы в эксплуатацию на первых порах достаточно трех станций: ведущей ГСВЧ, работающей на СДВ, и двух РВ в диапазоне ДВ. Приема трех сигналов потребителем уже достаточно для работы фазоразностной (гиперболической) РНС и прослушивания двух РВ программ.

Кстати, в Англии есть опыт использования несущей РВ станции Дройтвич (200 кГц до введения сетки 9m) в качестве эталона. По мере ввода в работу новых станций их сеть может неограниченно расширяться и по числу станций, и территориально.

Новые станции могут быть как РВ (ДВ диапазона 153...414 кГц и СВ диапазона 522...1602 кГц с меньшим радиусом действия), так и специализированными РН и СЭВ (на частотах ниже 150 кГц).

Детализация проекта: приемники пользователей

Поскольку промышленно-выпускаемые приемники годятся только для прослушивания радиопередач, необходимо наладить выпуск специализированных приемников, обеспечивающих кроме РВ еще РН и имеющих встроенные часы, синхронизируемые по сигналам станций системы.

Традиционная супергетеродинная схема менее всего подходит для этой цели из-за большого числа резонансных контуров и фильтров в радиотракте. Хотя фазовая задержка сигналов в тракте и может быть учтена, остается ее нестабильность, например, температурная. Целесообразно сличать фазы принятого сигнала и опорного гетеродина как можно ближе ко входу приемника, исключив длинный радиотракт.

Так приходим к схеме гетеродинного приемника (прямого преобразования) [4...6], содержащего между антенной и смесителем (фазовым детектором) лишь простейший преселектор – полосовой фильтр (рис. 2).

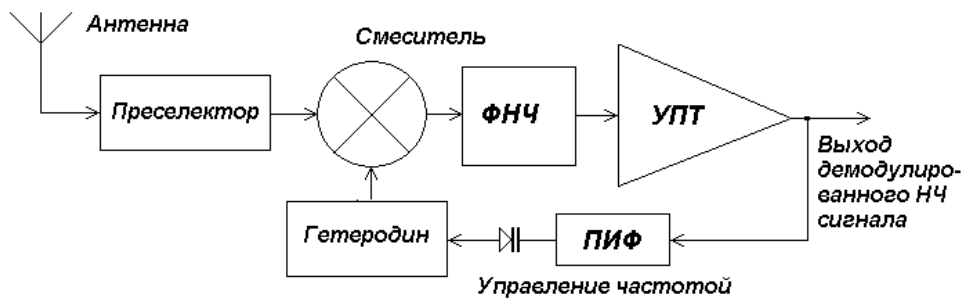


Рис. 2. Структурная схема радиоприемника с ФАПЧ

Смеситель, он же фазовый детектор, а по сути перемножитель сигналов – принимаемого и гетеродинного – вырабатывает сигнал ошибки, который после фильтрации и усиления в ФНЧ и УПТ управляет частотой гетеродина до достижения фазовой синхронизации с несущей принимаемой станции. Сигналы несущей и гетеродина при этом оказываются в квадратуре (со сдвигом фазы $\pi/2$). Все элементы схемы, исключая преселектор, образуют петлю ФАПЧ. Остаточная ошибка синхронизированной фазы устремляется к нулю применением пропорционально-интегрирующего фильтра (ПИФ). Ответственный элемент приемника – усилитель постоянного тока (УПТ), поскольку его дрейф прямо приводит к фазовой ошибке. Возможно использование современных прецизионных операционных усилителей (ОУ), а в ответственных случаях периодической коррекции дрейфа или использование метода модуляции-демодуляции для усиления постоянной составляющей НЧ сигнала.

Фазовые РН измерения могут быть выполнены многоканальным приемником. Основной канал по схеме рис. 1 настроен на частоту станции ГСВЧ и его гетеродин служит опорным (ОГ) для часов и синтезатора частот, равных частоте несущих других, например, РВ станций. Другие каналы выполняются также по гетеродинной схеме, и здесь возможны варианты. Если использовать в каналах ФАПЧ и свои гетеродины, то нужен фазометр, измеряющий сдвиг фазы между колебаниями гетеродинов и синтезатора. Если использовать сигнал синтезатора в качестве гетеродинного, то перед смесителем должен быть установлен управляемый фазовращатель (УФ), устанавливающий сдвиг фазы $\pi/2$ на его входах. Если в первых фазовых дальномерах это делалось вручную, то сейчас несложно сделать систему автоматической подстройки фазы – ФАПФ. Внесенный УФ фазовый сдвиг и является отсчетом. УФ можно сделать цифровым и совместить с синтезатором. Если, например, необходима точность отсчета фазы $1/300$ цикла, что дает точность определения дальности $1/400$ длины волны, то частота опорного гетеродина должна быть в 400 раз выше рабочей (40 МГц при работе на 100 кГц), что вполне достижимо, и дискретность дальности будет 7,5 м.

Возможен и одноканальный вариант приемника, последовательно принимающего несколько станций. По первой (предпочтительно ГСВЧ) синхронизируется гетеродин синтезатора и хранит эту фазу некоторое время, достаточное для опроса других станций. При этом также нужен УФ для отсчетов фазы и сравнения их с опорной. Напомню, что в фазоразностном методе РН надо принять как минимум три станции. Время хранения фазы зависит от собственной стабильности ОГ. В таблице 1 приведено время T , за которое уход фазы не превысит $\pi/2$ в зависимости от абсолютной Δf и относительной $\Delta f/f$ (для частоты 100 кГц) нестабильности.

Таблица 1. Время хранения фазы

Δf	0.01	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
$\Delta f/f$	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}
T	25 сек	4 мин	40 мин	6.7 час	2.5 сут	25 сут	8,3 мес

Обычные кварцевые генераторы могут обеспечить относительную нестабильность $\Delta f/f$ до 10^{-7} , термокомпенсированные (ТСХО) – до 10^{-8} . Далее речь идет о стандартах частоты, вряд ли доступных для гражданского применения, но вполне пригодных на мобильных объектах, кораблях и самолетах.

Совмещенные РН и РВ передатчики

РВ ДВ передатчики и их антенны подходят для целей РН безо всяких переделок, за исключением добавки приемника эталонной частоты ПЭЧ от ведущей станции ГСВЧ. Как правило, мощные ДВ радиоцентры уже имеют собственный эталон частоты, поэтому требуется не относительно быстродействующая ФАПЧ, а лишь периодическое сличение для подстройки фазы или получения корректирующих данных (см. табл. 1). Последние могут закладываться в сам излучаемый сигнал медленной модуляцией несущей, например, фазовой RZ кодом (с возвратом к нулю), чтобы среднее значение фазы оставалось неизменным.

В этой связи решение Минсвязи о прекращении мощного ДВ радиовещания в России с января 2014 года и последовавшая ликвидация радиоцентров и их антенных сооружений следует считать глубоко ошибочными, и нанесшими непоправимый вред. Огромные районы страны, особенно северные и восточные, остались вообще без информации! Если технику еще можно восстановить за большие деньги, то десятилетиями складывавшиеся коллективы специалистов высочайшей квалификации утеряны навсегда.

Радиус действия ДВ передатчиков достигает 1...1,5 тыс. км земной волной при передаче РВ программ с полосой в 3...10 кГц. Для РН радиус действия значительно больше из-за сужения полосы приемника. Здесь надо подчеркнуть еще одно существенное достоинство гетеродинных приемников. Если в обычных приемниках введение узкополосных фильтров приводит к ухудшению точности РН системы из-за фазовых задержек, то в гетеродинном приемнике по рис. 1 этих задержек нет, поскольку фильтрация происходит на нулевой частоте после смесителя.

Использование таких приемников приводит к мысли отказаться от традиционной АМ для радиовещания и перейти на квадратурную модуляцию (КАМ) с боковыми полосами, сдвинутыми по фазе на $\pi/2$ относительно несущей. Гетеродин приемника по рис. 1 оказывается в фазе с боковыми составляющими сигнала, смеситель их синхронно детектирует, и на выходе мы получаем демодулированный и усиленный звуковой сигнал высокого качества с малыми искажениями. При равной излучаемой мощности КАМ значительно (примерно вдвое) увеличивает радиус действия РВ передатчика [7].

Заключение

Предложенная система РВ и РНС с минимальными капитальными затратами позволяет обеспечить население на всей территории страны и прилегающих акваториях информацией, единым точным временем и позиционированием. Основанная на использовании стационарных СДВ и ДВ передатчиков она не имеет недостатков спутниковых систем, может обеспечить примерно такую же точность, работу под землей, под водой и в помещениях, может вводиться в действие уже сейчас и позволяет неограниченное расширение.

Литература

1. Никитенко Ю.И., Быков В.И., Устинов Ю.М. Судовые радионавигационные системы. — М.: Транспорт, 1992.
2. Поляков. В. Гетеродинный приём. В сб. «Радиоежегодник 1988». — М.: Изд. ДОСААФ, 1988, с. 16...38.
3. Поляков. В. Упорядочение эфира и когерентная радиосвязь. В сб. «Радиоежегодник 1989». — М.: Изд. ДОСААФ, 1989, с. 9...17.
4. Поляков В. Т. Радиолобителям о технике прямого преобразования. — М.: «Патриот», 1990.
5. Поляков В. Т. Радиовещательные ЧМ приемники с фазовой автоподстройкой. — М.: Радио и связь, 1983.
6. Поляков В. Синхронный АМ приемник. — Радио, 1984, № 8, с. 31...34; Радио, 1999, № 8, с. 16,17.
7. Поляков В. Т. QAM, экспериментаторы! — CQ-QRP, 2015, № 52, с. 4...10. Электронный ресурс <http://qrp.ru/cqqrp-magazine/1165-cq-qrp-52>