

# Стабильная синхронизация одночастотных сетей с помощью приемников GPS новой концепции ABE Elettronica

Одночастотные сети наземного цифрового телевизионного вещания (сети SFN) требуют организации временной и частотной синхронизации 1 импульс/сек (1 pps) и 10 МГц. Самым простым и экономным способом осуществления такой синхронизации является прием спутниковых сигналов GPS.

Необходимо иметь в виду, что большая часть приемников GPS, существующих на рынке, не предназначены для этого специфического применения и могут являться причиной серьезных проблем, связанных с рассинхронизацией сети. Для использования в сетях SFN приемники/ синхронизаторы GPS должны иметь особые характеристики, достижение которых не является простым.

Одной из принципиальных проблем реализации сети SFN является достижение синхронизации всех передатчиков во избежание их взаимных помех. Прежде, чем углубляться в технический анализ, коснемся вкратце работы одночастотной сети.

В сети SFN транспортный поток должен содержать информацию, необходимую для синхронизации передатчиков (time stamp, pointer и т.д.). Каналы распространения сигналов до передатчиков наземные (РРЛ, оптика) или спутниковые должны быть "прозрачными", то есть не добавлять или исключать ни одного бита транспортного потока.

Формирование транспортного потока осуществляется специальными устройствами (MIP inserter, gateway, multiplexer и т.д.) в соответствии с выбранным стандартом распространения; эти устройства используют исключительно точные опорные сигналы времени и частоты, идентичные подобным сигналам синхронизации работы передатчиков сети SFN. Передатчики сети SFN кроме информации о синхронизации, содержащейся в транспортном потоке, нуждаются также в опорных сигналах времени и частоты (1 pps и 10 МГц).

Под "идентичностью" сигналов 1 pps имеется в виду то, что они должны быть одинаковыми повсюду с минимальной ошибкой, не превышающей величины порядка сотен наносекунд. По этой причине импульсы 1 pps могут передаваться только через каналы, задержка в которых известна, постоянна и может быть скомпенсирована. В связи с этим при использовании, например, спутникового канала приходится применять сложные системы динамической компенсации.

Что касается "идентичности" опорной частоты 10 МГц, то речь идет не о фазе и не о небольших мгновенных изменениях частоты, а о неизменности средней частоты за длительный период времени. Практически, если изменение опорной частоты составляет  $\pm 1 \cdot 10^{-9}$  от величины 10 МГц, но среднее значение за длительный период (за 24 часа или более) составляет 10 МГц с точностью  $2 \cdot 10^{-12}$ , результат можно считать допустимым.

Накопленная ошибка является значительно более важной, чем мгновенная отклонение частоты. Например: накопленная ошибка в 100 импульсов, следующих с частотой 10 МГц вызывает рассинхронизацию в 10 мкс. В случае сети SFN DVB-T 8K с защитным интервалом 1/8 это составляет немного менее 10% длительности защитного интервала, что можно считать пределом допустимого.

Technical Note

Другой практический пример: два генератора 10 МГц, один из которых имеет ошибку  $+5 \cdot 10^{-10}$ , другой - ошибку  $-5 \cdot 10^{-10}$  накапливают за 3 часа разностную ошибку в 108 импульсов (10,8 мкс).

Однако модулятор SFN компании ABE Elettronica постоянно отслеживает правильность синхронизации передаваемого сигнала и при ошибке, превышающей 10% защитного интервала, автоматически перезапускается. Без такого контроля может произойти потеря синхронизации сети.

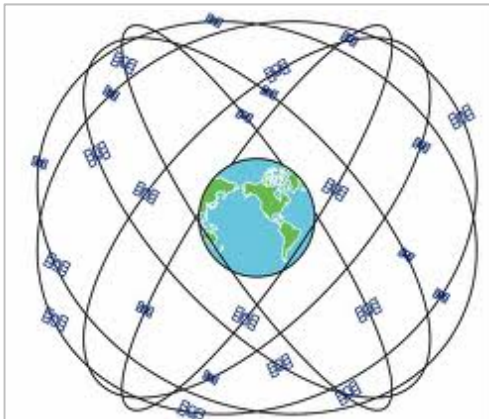


Рис.1 Созвездие спутников GPS

Самый простой и распространенный способ синхронизации сетей SFN связан с использованием системы GPS (Global Positioning System - американской системы спутникового позиционирования). GPS дает возможность получать сигналы 1 pps высочайшей точности одновременно в любой части света с пиковыми ошибками всего в десятые доли наносекунды и средними ошибками за длительный период практически равными нулю. Сигналы GPS обеспечиваются 24-мя основными спутниками и несколькими резервными. Предусматривается поддержание и развитие этого сервиса по крайней мере до 2030 года.

Импульсы 1 pps, полученные, вернее, рассчитанные приемниками GPS на основе принятых от спутников сигналов, используются для синхронизации сетей SFN. Кроме того, они позволяют получить опорную частоту 10 МГц для синхронизации рабочей частоты передатчиков.

Не все представленные на рынке устройства, имеющие в своем составе приемники GPS и генераторы 10 МГц, подходят для получения опорных сигналов в сетях SFN. Использование большей части таких устройств приводит к периодической потере синхронизации сети. Исследуем основные причины этого.

## НАКОПЛЕННАЯ ОШИБКА

Отличие опорной частоты от точного значения 10 МГц приводит к потере синхронизации сети SFN. При этом не так важна мгновенная ошибка частоты, как средняя ошибка за длительный период времени. Даже небольшая ошибка, постепенно накапливаясь, приводит в конце концов к потере синхронизации.

Обычные приемники GPS с периодом около 20 минут приводят частоту опорного генератора к точному значению. При этом среднее значение частоты за длительный период неизбежно будет отличаться от 10 МГц.

ABE Elettronica разработала собственный алгоритм, названный "НОЛЬ НАКОПЛЕННОЙ ОШИБКИ" который решает эту проблему, гарантируя нулевую ошибку за длительный интервал работы устройства.

## УДЕРЖАНИЕ СИНХРОНИЗАЦИИ В ОТСУТСТВИИ СИГНАЛА GPS (HOLDOVER) И ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОК

При пропадании сигналов GPS от спутников устройство в течение нескольких часов удерживает синхронизацию, благодаря внутреннему термостабилизированному опорному генератору 10 МГц. Тем не менее потеря синхронизации в таких условиях - вопрос времени. По этой причине устанавливается интервал времени работы в режиме удержания синхронизации, после которого устройство автоматически выключается и генерирует сообщение об этом. Этот интервал зависит от регулировок сети (величины защитного интервала) и от качества генератора.

После возвращения сигнала GPS большая часть устройств, представленных на рынке, синхронизирует работу генератора 10 МГц, однако модулятор SFN остается рассинхронизированным из-за накопленной к этому моменту времени ошибки.

На практике к накоплению ошибки приводит не отсутствие сигналов GPS в течение длительного времени, а периодическая многократная “потеря” спутниковых сигналов. ABE Elettronica разработала собственный алгоритм, называемый “HOLD OVER ERROR RECOVERY” (исправление накопленной ошибки), позволяющий компенсировать такие ошибки и предотвращать потерю синхронизации сети.

Можно устанавливать максимальное значение исправляемой ошибки. При его превышении устройство кратковременно выключает сигналы 1 pps, вызывая этим принудительный перезапуск модуляторов.

Алгоритм работает корректно также в случае, когда предыдущая ошибка полностью не скомпенсирована, а сигналы GPS вновь потеряны.

Для проверки компенсации ошибок был проведен тест, при котором сигналы GPS отключались в течение 90% общего времени работы. Каждое отключение составляло около 8 часов и не превышало установленного порога накопленной ошибки, а интервалы включения сигналов GPS составляли десятки минут и были достаточны для необходимой компенсации ошибки. Тест дал положительный результат работы системы удержания синхронизации.

## МИНИМАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ВИДИМЫХ СПУТНИКОВ

Для того, чтобы сгенерировать с необходимой точностью импульсы 1 pps, приемники GPS должны с высокой точностью определять свое местоположение. Для этого они нуждаются в обработке данных как минимум от 4-х спутников, передающих свое орбитальное положение. Именно такое количество (в последнее время даже 5) постоянно видимых спутников гарантирует система GPS в любой точке мира.

Проблема заключается в том, что часто приемные антенны устанавливаются в таких местах, откуда невозможно “видеть” все небо из-за помех в виде зданий, башен, гор и т.п. В этих случаях постоянная видимость 4-х спутников не может быть гарантирована. В других случаях из-за электромагнитных помех или по другим причинам могут возникать условия, при которых принимаются только сильные сигналы спутников, количество которых может казаться менее 4-х.

ABE Elettronica решила эту проблему в своих устройствах, гарантируя генерирование импульсов 1 pps и опорной частоты 10 МГц необходимой точности при приеме сигналов всего одного спутника.

Используя то обстоятельство, что местоположение приемника GPS для нашего применения является фиксированным, он при первом включении в течение 30 минут с высокой точностью определяет свое местоположение, запоминает его и использует в дальнейшей работе. Таким образом, приемник GPS в состоянии постоянно генерировать сигналы с необходимой точностью при наличии только одного видимого спутника.



Рис. 2 Спутник GPS

## ТИПЫ ПРИЕМНЫХ АНТЕНН GPS, ИХ УСТАНОВКА

Сигнал GPS является крайне слабым. Из-за потерь в антенном кабеле, достигающем длины десятков метров, сигнал на входе приемника может оказываться недопустимо низким. В связи с этим предпочтительно иметь активную приемную антенну с предусилителем. С учетом проблем, связанных с шумами приемника, рекомендуется выбирать антенны с усилением, превышающим потери в антенном кабеле по крайней мере на 6 дБ.



Рис. 3 Плата синхронизатора GNSS с двумя приемниками для двух стандартов (GPS+GLONASS) и опорный генератор

Необходимо также учитывать сильные электромагнитные поля, обычно присутствующие на передающих центрах. Для защиты предусилителей от перегрузки по входу необходимо использовать селективные фильтры. К недостаткам такого решения относится дополнительное затухание, равное приблизительно 1 дБ. На рынке представлены антенны с фильтром, установленным после первого предусилителя. Такое решение менее предпочтительно из-за вышеописанных проблем.

## БЫСТРЫЙ ЗАПУСК

Для многих устройств синхронизации GPS требуется много времени на “разогрев” и выход на рабочий режим, часто до нескольких часов. Без этого рабочая частота модуляторов в сети SFN оказывается недостаточно стабильной, что приводит к рассинхронизации сети.

ABE Elettronica разработала собственный алгоритм, названный “FAST COLD START-UP” (“быстрый запуск”), который обеспечивает время выхода в рабочий режим с холодного состояния порядка 1 минуты.

## ДРУГИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Устройство обладает дополнительными возможностями для улучшения работы сети SFN с синхронизацией от GPS.

Для повышения точности сигналов синхронизации времени 1 pps, предусмотрена компенсация задержки в антенном кабеле.

Имеется возможность установки в одном модуле второго приемника GPS. Приемники могут работать от одной или от двух независимых антенн. Предусмотрена возможность установки двух термостабилизированных генераторов, двух источников питания. Такие конфигурации значительно повышают надежность системы. Особое внимание уделено важнейшему параметру - увеличению времени удержания синхронизации сети. Применены технические решения, повышающие стабильность частоты генератора 10 МГц как в связи со старением элементов, так и при изменениях температуры окружающей среды.



Рис. 4 Приемник - синхронизатор GNS1000 с двумя активными антеннами