

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ДЛЯ ИОНОЗОНДА С НЕПРЕРЫВНЫМ ЛИНЕЙНО-ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫМ СИГНАЛОМ

Иванов В.А., Махмутов А.Н.

Марийский государственный технический университет

Введение. В последнее время в Российской Федерации и за рубежом для научных исследований ионосферы и распространения радиоволн ДКМ диапазона в университетах и научно-исследовательских лабораториях стали использовать широкополосные ионозонды с непрерывным линейно-частотно-модулированным (ЛЧМ) сигналом (ЛЧМ – ионозонды). Стремительный рост количества пользователей ЛЧМ ионозондов вызван его малыми габаритами и энергопотреблением, высокой энергетической и структурной скрытностью, возможностью зондирования сверхдальних трасс вплоть до кругосветных, высокой разрешающей способностью и помехозащищенностью по сравнению с традиционными импульсными ионозондами.

При использовании ЛЧМ сигналов РТС в своем составе должны иметь подсистему синхронизации по времени передатчика и приемника. Поэтому возникает проблема создания такой подсистемы, которая бы обеспечивала привязку передатчика и приемника к одной шкале времени. В настоящее время в качестве такой шкалы времени обычно используется шкала единого мирового времени.

Цель работы: разработка гибкоперестраиваемой системы синхронизации ЛЧМ ионозонда ДКМ диапазона, с возможностью установления и поддержания временной синхронизации между приемными и передающими станциями радиотехнической системы с высокой точностью.

Решаемые задачи: 1) задача цифровой обработки сжатого в частотной области непрерывного ЛЧМ-сигнала в условиях комплекса помех; 2) задача установления синхронизации, включающая задачу первичной и вторичной синхронизации; 3) задача поддержания синхронизма.

Первичная синхронизация. Решение проблемы установления синхронизации начинается с первоначальной привязки ШВ передающей и приемной станции к единому мировому времени (ЕМВ). ЕМВ является эталонным и его применение предпочтительно в системах синхронизации радиотехнических систем, использующих сложные сигналы, к которым относится и ЛЧМ - ионозонд. Поэтому ШВ передатчиков и приемников ЛЧМ - ионозондов, расположенных в различных точках Земли, обычно синхронизируются к ЕМВ. Методы получения мгновенного значения точного времени, использованные в системе синхронизации, имеют различную степень достоверности.

Первый метод получения данных о точном времени - по сигналам станций точного времени (СТВ) ДКМ диапазона. СТВ излучают секундные радиоимпульсы на строго определенных несущих частотах, фронт которых привязан к ЕМВ. Однако сигнал СТВ, распространяясь по ионосферному каналу, поступает на вход приемной и передающей станций ЛЧМ – ионозонда с задержкой на некоторое время τ . Из-за влияния ионосферы точность привязки к ЕМВ по сигналам СТВ (по ионосферному радиоканалу) составляет единицы миллисекунд.

Другой способ привязки к ЕМВ заключается в использовании спутниковой системы Global Positioning System (GPS). Применяемый в системе GPS принцип состоит в том, что установленные у потребителей специальные приемники, измеряют дальности до нескольких спутников и определяют свои координаты по точкам пересечения поверхностей равного удаления. Дальность вычисляется путем умножения скорости распространения радиосигнала на время задержки при прохождении им расстояния от спутника до пользователя. Величина временной задержки определяется сопоставлением кодов сигналов, излучаемых спутником и генерируемых приемным устройством, методом временного сдвига до их совпадения. Временной сдвиг измеряется по часам приемника. Координаты спутников известны с высокой точностью. Точность установления ШВ с использованием системы GPS составляет 100 мкс.

Еще один способ привязки к ЕМВ, использованный в системе синхронизации – способ привязки к ЕМВ по собственным сигналам. Для решения этой проблемы используется метод с применением периодического ЛЧМ сигнала.

Передающая станция ионозонда излучает периодический ЛЧМ сигнал с периодом $T = 1$ с.

Сигнал распространяется в ионосферном радиоканале, где подвергается искажениям и на него накладываются шумы с различной частотно-временной структурой. Спектр сигнала сжимается в приемнике (коэффициент сжатия 10^5) и над ним выполняется цифровая обработка. Последняя предусматривает процедуры: обнаружения, выделения сигнала и считывание параметров. В связи с тем, что сжатие производится в частотной области, процедуры имеют свою специфику и обладают новизной. В докладе подробно представлены методы и алгоритмы цифровой обработки непрерывных ЛЧМ-сигналов при сжатии их в частотной области.

Пусть момент времени запуска периодического ЛЧМ сигнала равен t_{II} . Его можно принять за начало отсчета ШВ на передающей станции. На приемной станции ионозонда гетеродин РПУ формирует когерентный излучаемому периодический ЛЧМ сигнал, который запускается во время t_{Γ} – начало ШВ приемной станции. Частота сжатого сигнала на выходе РПУ будет подчиняться выражению

$$F_p(t) = f_{\Gamma}(t) - f_{II}(t - \tau) = \dot{f} \cdot (t_{II} - t_{\Gamma} + \tau) = \dot{f} \cdot \Delta t$$
, при условии, что выполняется неравенство:
 $|t_{II} - t_{\Gamma} + \tau| = \Delta t < 1$ с. Выполнение этого неравенства обеспечивается при проведении первичной

синхронизации. Далее на приемной станции, последовательно от такта к такту уменьшая Δt на величину $\frac{\Delta F_A}{2 \cdot \dot{f}}$, добиваемся выполнения условия $\Delta t \cdot \dot{f} < \Delta F_A$. На рис.1 изображен режим вхождения в синхронизм

приемной станции ЛЧМ – ионозонда (его сигнал представлен на рисунке пунктирной линией) с принимаемым синхронизирующим сигналом передающей станции (сигнал обозначен сплошной линией).

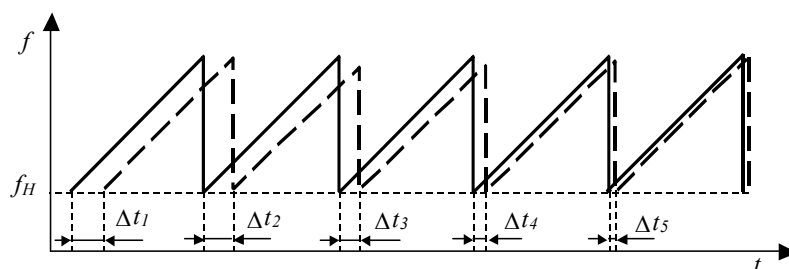


Рис. 1

Максимальное время, которое необходимо на режим синхронизации, составляет не более 1 минуты при $\frac{\Delta F_A}{\dot{f}} = 50 \text{ мс}$.

Таким образом, первичная синхронизация ШВ передающих и приемных станций к ЕМВ может быть проведена по радиосигналам станций точного времени, с использованием GPS – приемников или по собственным сигналам.

Вторичная синхронизация заключается в учете времени распространения зондирующего ЛЧМ – сигнала от передатчика до приемника и разработке действий на приемном конце радиолинии, обеспечивающих начало формирования гетеродинного сигнала в момент прихода зондирующего сигнала.

Структурная схема системы синхронизации ЛЧМ ионозонда, реализующая описанные выше функции представлена на рис.2. Реализацию большинства функций синхронизации выполняет МЕВ (модуль единого времени). МЕВ обеспечивает постоянное поддержание единого мирового времени (UTC) в ионозонде, временной режим работы станции, синхронную работу с другими ЛЧМ-ионозондами. МЕВ представляет собой электронные часы с возможностью автоматической синхронизации к сигналам глобальной навигационной системы (GPS) за счет используемого в его составе GPS-приемника, а также с возможностью автоматической синхронизации по сигналам КВ-станций единого времени. Таким образом, МЕВ синхронизирует работу всех модулей ЛЧМ-ионозонда по задаваемому пользователем временному режиму работы, формируя импульсы запуска для каждого модуля ионозонда.

По функциональным признакам блоки можно разделить на три группы: 1) блоки, выполняющие функции счета и хранения времени; 2) блоки, обеспечивающие получение данных от источника точного времени и синхронизацию часов к нему; 3) блоки, управляющие временным режимом работы ЛЧМ ионозонда.

Блок счета времени является основной функцией МЕВ и реализует счет времени и его хранение. Точность счета времени определяется высокостабильным термостатированным кварцевым генератором и составляет 0,05 ppm.

Блок синхронизации начала шкалы времени ионозонда (ШВ) к UTC по GPS реализует функции: получение точного времени от GPS через интерфейс связи с GPS по протоколу TSIP, установление первичной синхронизации, коррекцию времени блока часов.

Блок синхронизации ШВ с UTC по СТВ реализует функцию настройки РПУ ЛЧМ-ионозонда на частоту КВ станции единого времени, установление первичной синхронизации, выделение секундных импульсов из принимаемого сигнала и коррекцию времени блока часов.

Блок поддержания синхронизма отслеживает временные нестабильности опорных генераторов ионозонда, условия распространения сигнала в ионосфере, устанавливает вторичную синхронизацию и автоматически корректирует начало ШВ ионозонда.

Блок поддержки времени в отсутствии питания выполняет функцию переключения МЕВ на резервное питание, переключения на резервный кварцевый резонатор с целью снижения энергопотребления и поддержание при этом счета времени в МЕВ

Блок связи с ПЭВМ служит для информирования ПЭВМ о текущем времени, для получения расписания работы.

Блок хранения и работы по расписанию выполняет функцию управления выбором ближайшего режима работы.

ПЭВМ предназначена для обработки поступающих данных с МЕВ, а также для контроля работоспособности, хранения и индикации обработанных данных.

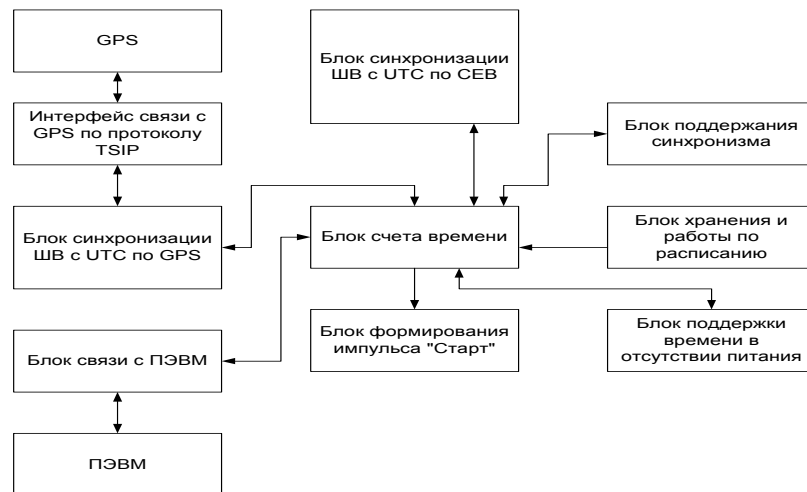


Рис. 2

Выводы: Разработанная гибкоперестраиваемая система синхронизации имеет следующие характеристики:

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Дискретность отсчета собственной ШВ	10мкс
2	Погрешность синхронизации ШВ: - по сигналам спутников системы GPS - по сигналам СТВ	не более 1 мкс 1 мс
3	Уход собственной ШВ в течение 24ч. (без повторной синхронизации)	не более 0,5мс

что позволяет обеспечить время готовности подсистемы (обеспечения указанных погрешностей) не более 5 минут и реализацию режима реального времени вхождения в синхронизм ЛЧМ ионозонда.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 02-02-16318 и Минобразования РФ E02-8.0-48.