

ЛЧМ-ПРИЕМНИК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

А.В. Подлесный

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
pav@iszf.irk.ru

A SDR CHIRP RECEIVER

A.V. Podlesnyi

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Аннотация. Приводится описание и основные характеристики приемника ЛЧМ-сигналов с использованием программно-определяемых систем, разработанного в ИСЗФ СО РАН. Обсуждается опыт эксплуатации данных приемников в составе сети ЛЧМ-зондирования ИСЗФ СО РАН.

Ключевые слова: ЛЧМ, программно-определяемые системы, ионосфера

Abstract. Described the main characteristics chirp signals SDR receiver developed in ISTP. The experience of operating these receivers as part of the chirp sounding network of the ISP of the SB RAS is discussed.

Keyword: chirp, SDR, ionosphere

Введение

Высокие потребительские качества ЛЧМ-сигналов привели к широкому использованию их в военной технике, в коммерческих системах связи и в научных исследованиях. За рубежом для проведения прикладных исследований были разработаны высокоэффективные специализированные системы наклонного зондирования трасс большой протяженности и возвратно-наклонного зондирования с использованием непрерывных ЛЧМ-сигналов [Barry, Fenwick, 1965; Sweeney, 1970; Croft, 1972]. В России разработка ЛЧМ-ионозондов ведется независимо от зарубежных аналогов с 80-х гг. прошлого столетия [Иванов и др., 2003] усилиями сотрудников образовательных (МарГТУ, НИРФИ, РГУ) и академических организаций (ИСЗФ СО РАН, ИЗМИРАН).

Как правило, современные ЛЧМ-ионозонды работают в диапазоне 1–30 МГц, со скоростями перестройки 100–2000 кГц/с. Чаще всего ЛЧМ-сигналы применяются при наклонном зондировании, которое наиболее полно позволяет раскрыть преимущества большой базы ЛЧМ-сигнала.

Характеристики базового оборудования ГФО «Торы»

Решение задач построения и совершенствования аппаратуры сети ЛЧМ зондирования ИСЗФ СО РАН является важным аспектом развития институтского комплекса инструментов диагностики околоземного космического пространства. По состоянию на 2006 год [Петько и др., 2006], в составе сети ЛЧМ-зондирования ИСЗФ СО РАН имелся приёмный пункт, расположенный на территории геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (Бурятия) и передающие пункты, расположенные на территории обсерватории радиофизической диагностики атмо-

сферы ИСЗФ СО РАН (Иркутская область), на территории норильской комплексной магнитно-ионосферной станции ИСЗФ СО РАН, на территории геофизической обсерватории «Магадан» ИКИР ДВО РАН (Магаданская область) и на территории геофизической обсерватории «Хабаровск» ИКИР ДВО РАН (Хабаровский край). Геофизическая обсерватория Торы была оснащена одноканальным приемником ЛЧМ-сигналов с аналоговым гетеродинированием и оцифровкой результатов зондирования на промежуточной частоте. Передающие пункты были оснащены формирователями ЛЧМ-сигналов на основе прямого цифрового синтеза и широкополосными усилителями мощности 200–700 Вт.

Данная сеть позволяла производить наклонное зондирование (НЗ) по трем трассам: Норильск-Торы, Хабаровск-Торы, Магадан-Торы и слабо-наклонное зондирование на трассе длиной 120 км, Усолье-Торы. Также эпизодически принимались сигналы сторонних передатчиков (Кипр). Наблюдения велись в течение 1 месяца в квартал с 5-минутной цикличностью зондирования. Наличие одного одноканального приемного устройства с аналоговым гетеродинированием не позволяло использовать частотное разделение для проведения наблюдений на нескольких трассах одновременно, поэтому использовалось поминутное временное разделение каналов, а во время проведения экспериментов с проведением ежеминутного слабо-наклонного зондирования прием сигналов наклонного зондирования был невозможен. Сложность используемой схемы запуска и синхронизации приемного устройства, отсутствие возможности удаленного контроля параметров и автоматического запуска требовали для его обслуживания личного присутствия высококвалифицированных специалистов во время проведения измерений, что ограничивало возможности по проведению длительных экспериментов.

И если динамику крупных перемещающихся ионосферных неоднородностей с масштабами до 1.5–2 тыс. км сеть позволяла определять достаточно хорошо, то с определением параметров неоднородностей более мелкого масштаба существовали существенные ограничения. По данным наблюдений на переменной частоте (1–15 МГц) было установлено, что горизонтальные градиенты электронной концентрации, обусловленные ПИВ, присутствуют не только в области слоя F2, но и в области слоя F1. Поэтому для определения параметров неоднородностей с масштабами от нескольких десятков километров требовалось организовать несколько пунктов зондирования с разнесением 50–400 км и существенно повысить временное разрешение.

Описание нового приемного устройства

Для решения поставленных выше задач в ИСЗФ СО РАН разработан многоканальный цифровой приемник ЛЧМ-сигналов, построенный по схеме прямой оцифровки с широкополосным непереключаемым преселектором на входе. Упрощенная структурная схема одного канала приема показана на рисунке.

Оцифровка сигнала высокоскоростным (16 бит/100 МГц) АЦП сразу после полосового фильтра позволяет производить всю дальнейшую обработку в цифровой форме. Использование цифровой обработки сигнала позволяет строить и применять фильтры гораздо более высоких порядков, чем те, которые применяются в аналоговой технике.

Для построения цифрового приемника ЛЧМ-сигналов использовался submodule цифрового приема ADMDDC4x16v3, который производится Российской компанией «Инструментальные Системы». Этот submodule предназначен для создания систем сбора и цифровой обработки высокочастотных аналоговых сигналов с широким и сосредоточенным спектром в полосе от 1.0 до 170 МГц. Submodule позволяет выполнять следующие операции:

- выделение (фильтрацию) полезных сигналов из всего спектра входного сигнала;
- обработку данных каждого канала своим DDC.

Submodule содержит:

- четыре 16-разрядных АЦП с частотой дискретизации до 100 МГц;
- четыре четырехканальные микросхемы DIGITAL DOWN CONVERTER (DDC) GC4016 фирмы Texas Instruments для смещения интересующей полосы частот к нулевой частоте при цифровом умножении данных от АЦП на квадратурное опорное колебание внутреннего генератора DDC.

Использование 16 разрядных АЦП с частотой дискретизации 100 МГц позволило получить поток цифровых отсчетов сразу после полосового фильтра, даже при работе в КВ и УКВ-диапазоне. Однако фильтрация такого потока данных стандартными методами практически невозможна при обработке в реальном масштабе времени даже на современных быстродействующих процессорах цифровой обработки сигналов из-за большого количества требуемых операций умножения. Поэтому для этого был



Блок-схема одного канала цифрового приемника. (ПФ — полосовой фильтр, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, ФНЧ — фильтр низких частот, ЦОС — цифровая обработка сигнала)

разработан особый класс специализированных устройств для эффективной фильтрации и понижения частоты следования отсчетов, называемых квадратурными понижающими преобразователями (Digital Down Converter (DDC)).

Наличие четырех когерентных антенных каналов оцифровки и до 16 каналов цифровой обработки с произвольными параметрами, расположенных в одном радиоприемном устройстве, позволяет реализовывать наблюдения сразу несколькими методами одновременно, не требуя при этом временного разнесения циклограмм их работы [Медведев и др. 2008; Куркин и др. 2011].

Из-за широкой рабочей полосы частот ионозонда большое значение имеет отсутствие в приёмниках, построенных по технологии SDR, аналогового смесителя и гетеродина, и, как следствие, зеркальных помех и промежуточных частот. В стандартном супергетеродинном приёмнике входной сигнал перемножается с сигналом опорной частоты, и в большинстве случаев основной каскад усиления и фильтрации работает на промежуточной частоте. Однако проблема состоит в том, что в смесителе также возникает целый набор разностных частот, что вынуждает использовать очень высокую промежуточную частоту (более 30 МГц). В SDR эта проблема не возникает, из-за того, что можно выбрать промежуточную частоту равную нулю, а перемножение производится в цифровой форме. Кроме этого, в приёмниках, построенных по технологии SDR, нет проблем утечки сигнала гетеродина, просачивания сигнала мощной помехи в гетеродин и утечки сигнала гетеродина на антенный вход и его излучения.

Применение цифровых фильтров высокого порядка в новом приёмнике позволило обеспечить уровень подавления побочных каналов приема более 80 Дб. Высокое подавление побочных каналов приема и линейный динамический диапазон данного приёмника позволяет производить приём сигналов зондирования ионосферы на антенны, расположенные на расстоянии нескольких десятков метров от антенн работающего передатчика. При этом не требуется применения каких-либо дополнительных мер по уменьшению влияния излучения передатчика на вход приёмника, таких как, например, использования высокоскоростных переключателей прием/передача, построения антенн с узкой диаграммой направленности, пространственного разнесения приема и передачи по поляризациям.

Заключение

Новый приемник ЛЧМ-сигналов был разработан с учетом требований к вновь создаваемому оборудованию на современной элементной базе с использованием технологии SDR, что обеспечило его высокую функциональную насыщенность и расширило диагностические возможности ЛЧМ-оборудования ГФО Торы. В том числе:

1. Организованы непрерывные мониторинговые измерения на ряде трасс НЗ и СНЗ.

2. Обеспечена совместимость работы передающих и приемных средств ЛЧМ-зондирования в пределах одного пункта, что позволило организовать непрерывные наблюдения в режиме ВЗ на ГФО «Торы».

3. Организована работа комплекса в автоматическом режиме с возможностью удаленного управления и передачи данных зондирования в реальном времени по сети Интернет.

4. Зондирование на трассах ВЗ и СНЗ ведется с одномоментным интервалом, что обеспечило дополнительные возможности для диагностики ПИВ.

Список литературы

Иванов В.А., Куркин В.И., Носов В.Е., Урядов В.П., Шумаев В.В. ЛЧМ-ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях // Известия Вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46, № 11. С. 919–952.

Куркин В.И., Литовкин Г.И., Медведев А.В., Орлов А.И., Подлесный А.В. Способ обеспечения электромагнитной совместимости однопозиционного ионозонда // патент РФ № 2411540. 2011.

Медведев А.В., Брынько И.Г., Ким А.Г., Куркин В.И., Литовкин Г.И., Орлов А.И., Подлесный А.В. Новые возможности цифрового ЛЧМ-ионозонда // Труды XXII Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн». 2008. Т. 1 С. 37–40.

Петько П.В., Литовкин Г.И., Орлов А.И. Передающий ЛЧМ-ионозонд с улучшенными характеристиками, in: XII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 18–20 апреля 2006 г., 2006. P. 1083–1090.

Croft T.A. Sky-wave backscatter: A means for observing our environment at great distance // Reviews of Geophysics and Space Physics. 1972. V. 10, no 1, P. 73.

Fenwick R.B., Barry G.H. Step by step to a linear frequency sweep // Electronics. 1965. V. 38. P. 66.

Sweeney L.E. Spatial properties of ionospheric radio propagation as determined with half-degree azimuthal resolution // Rept. SEL-70-034 (TR No. 155), Stanford Electronics Laboratories, Stanford, Calif., June 1970.