

Ф.Ю. БЕСКРОВЦЕВ, м.н.с., Институт ионосферы (г. Харьков)

ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОВ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ СИГНАЛАМИ С РАЗНЫМИ ВИДАМИ МАНИПУЛЯЦИЙ

В статті розглянуті різні види сигналів, їх вади та переваги при дослідженні іоносфери, і можливість їх впровадження в апаратурі радару некогерентного розсіяння. Описані деякі особливості схемного рішення апаратури радару при застосуванні сигналів з різними видами маніпуляцій.

In article different views of signals, their limitation and advantages surveyed in examination of an ionosphere, and an opportunity of their application in the equipment of a radar incoherent dispersions. Some features of operation of the radio transmitter circumscribed at application signals with different views of manipulations equipments of a radar dependent on the circuit solution.

При измерении параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния (НР) возникает задача улучшения разрешающей способности по дальности и обеспечения достаточного времени накопления, а так же развитие новых методик измерений для синтеза ряда прикладных геофизических задач.

Вопрос нахождения оптимального зондирующего сигнала многократно рассматривался в последних публикациях [1-3], и как перспективное направление в решении этой проблемы предлагалось использовать составные сигналы и частотные и фазовые дискретно-кодированные сигналы.

Все способы решения этой проблемы рассматривались только с теоретической точки зрения, а так как специфика метода НР заключается в приеме и обработке шумоподобного сигнала, то к зондирующему сигналу предъявляются жесткие требования. Поэтому, применяя оптимальный сигнал в аппаратуре радару НР, при условии идеальности формируемого зондирующего сигнала выигрыш в точности полученных данных составляет единицы процентов. Специфика же построения радиопередающего устройства (РПУ), что оно не рассчитано на применение сложных сигналов, поэтому существует необходимость учёта влияния передающего тракта на характеристики излучаемого сигнала.

Целью данной статьи, является рассмотрение различных методов формирования зондирующих сигналов, сравнение их характеристик и предложение способа учета и внесение поправок в реальный зондирующий сигнал формируемый радаром НР.

Обзор методов. При использовании сложных дискретно-кодированных сигналов длительностью τ_c , состоящих из n дискрет, разрешающая способность уменьшается в n раз, что приведет также к снижению q и среднеквадратичной точности, но только в n раз.

Применение амплитудной манипуляции приводит к неполному использованию энергии зондирующего сигнала из-за вынужденных пауз в работе передатчика при кодировании элементами «0», что сказывается на статической точности измерений. А это приводит к уменьшению средней мощности зондирующего сигнала вдвое.

В моменты отсутствия сигнала в основном приемном канале не исключается возможность наличия сигнала в ортогональном канале. Это могут быть сигналы на разных частотах, сигналы с ортогональным расположением плоскостей поляризации, с круговой поляризацией противоположных направлений вращения.

Применение метода формирования зондирующего сигнала манипуляцией направления вращения плоскости поляризации малоэффективно из-за неточности в получении круговой поляризации, ненадежного способа разделения сигналов и отсутствия эффективных методов обработки принятого сигнала. Сюда же можно отнести и сигнал с фазовой манипуляцией.

При корреляционной обработке сигнала, некогерентно рассеянного на высотах, превышающих максимум ионизации, с использованием сложных импульсов возникают трудности, связанные с уменьшением отношения сигнал/шум. Статистическая погрешность измерений ионосферных параметров увеличивается. Уменьшить ее, применяя фазоманипулированные сигналы, не удастся из-за жесткого ограничения на длительность импульса. Для импульсного сжатия требуется когерентное интегрирование, поэтому характеристика сжатия ухудшается ввиду временных вариаций в рассеивающей среде и доплеровского приращения спектра.

Увеличивать длительность сложного сигнала можно при условии выбора из известных кодов таких, которые бы позволили достаточно точно и просто корректировать возникающие искажения [4]. Если общая продолжительность несжатого импульса меньше, чем время декорреляции рассеивающей среды (задержка, при которой АКФ процесса рассеивания становится отрицательной), то указанные искажения невелики и легко корректируются с помощью кодов Баркера.

Для среднеширотной ионосферы температура ионов измеряется в пределах 300...1500 К, а температурное отношение электронов и ионов – в пределах 1...3 и, следовательно, максимально ожидаемое уширение спектра некогерентного рассеянного сигнала с учетом доплеровских добавок достигает 2,5 кГц. Относительная доплеровская частота

$$\omega = f_{\text{допл}}/F, \quad (2)$$

где $F = 1/\tau_{\text{д}}$.

Расчеты свидетельствуют, что наиболее приемлемым для такой постановки задачи является 13-элементный код Баркера. Основная мощность боковых остатков, при относительных рассогласованиях порядка единицы, сосредоточена в «лепестках», примыкающих к сжатому импульсу. Суммарная

мощность остальных боковых «лепестков» составляет около 10%, причем доля первых трех нечетных – 6%.

Использование дискретно-кодированных сигналов в измерительных комплексах НР накладывает ограничения на длительность импульса, τ_u должно быть меньше времени корреляции τ_k , соответствующему первому нулю корреляционной функции (КФ) среды $\rho(\tau)$, формирующей НР-сигнал. Как упоминалось выше, для оценки параметров $\rho(\tau)$ необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\tau_u \geq 2 \tau_k, \quad (1)$$

которое препятствует полному раскрытию потенциальных возможностей сложных сигналов. Кроме того, нельзя не исключить существенного роста остатков, вносимых в сжатый по времени или по частоте сигнал, соответствующий центральному слою, остальными слоями импульсного объема среды.

Наличие «остатков» значительно снижает возможности использования в радиолокации дискретно-кодированного сигнала с фазовой модуляцией (ФДК-сигнала). Расчеты показывают, что при измерении мощности НР-сигналов вклад от побочных слоев при выполнении условия (1) может быть существенным, что нежелательно. Кроме того, существует проблема малого отношения сигнал/шум, в большей степени на больших высотах.

Поэтому при использовании этих сигналов для достижения ожидаемого разрешения необходимо каким-то образом измерить и компенсировать остатки.

В метровом диапазоне волн наиболее приемлема манипуляция по частоте. Поэтому лучшие результаты можно получить при применении частотных дискретно-кодированных (ЧДК) сигналов, когда для селекции сигналов используются не фазовые, а частотные различия. Таким сигналом может служить сигнал длительностью τ_d с единичной амплитудой и различными несущими частотами выбор разноса частот ΔF определяется допустимой взаимосвязью между частотными каналами.

При использовании отдельно выбранного импульсного зондирующего сигнала невозможно проводить исследования без искажений на всем интервале высот в одном сеансе измерений. Поэтому для одновременного наблюдения за изменениями параметров ионосферы на всех интервалах высот без искажений предложено использовать составные сигналы. Составной сигнал формируется из различных частотных элементов для конкретного интервала высот. На харьковском радаре НР ионосферные параметры исследуются до высот приблизительно 2000 км, условно этот интервал можно разбить на три части, что связано с существенным изменением локальных параметров плазмы с высотой.

При выборе составного импульсного зондирующего сигнала, как и любого другого сложного сигнала, необходимо учитывать характеристики и возможности измерительного комплекса [5]. В реальных условиях излучаемые импульсные напряжения неидентичны в каждом канале РПУ. Поэтому

также важно учитывать изменение фазочастотных характеристик излучаемого сигнала за счет наличия паразитных емкостей и индуктивностей рассеяния элементов модулятора и изменения углов отсечки анодных токов в усилительных каскадах. А для передачи сигнала без искажений длительность импульса или одного элемента сложного сигнала должна удовлетворять условию

$$2\Delta F = 1/\tau_s.$$

Использование сложных составных сигналов с дискретизацией по частоте приводит к паразитной амплитудной модуляции зондирующего импульса при значительном отклонении частоты дискрет от основной несущей частоты f_0 .

Выбор зондирующего сигнала необходимо производить не только опираясь на требования предъявляемые ему областью применения, а и детально анализируя характеристики и особенности работы измерительного комплекса.

При проведении экспериментов по внедрению новых методов зондирования ионосферы и при измерении параметров ионосферы существует необходимость оперативно отслеживать изменения параметров передающего устройства.

Выводы. Целью дальнейших исследований является разработка и оснащение передающего устройства контрольно-измерительного комплекса аппаратурой управления на базе персонального компьютера. Это позволит синхронно с измерениями получать данные о состоянии основных параметров передающего устройства, влияющих на излучаемый зондирующий сигнал, и накапливать информацию о самом зондирующем сигнале. Эти данные можно будет использовать при обработке принятого сигнала для внесения поправок, которые можно вносить как в процессе самих измерений, так и после их проведения. Кроме того, в функции этого устройства можно включить подготовительную и рабочую настройку РПУ. Это позволит при непрерывном контроле получать точные данные и намного облегчит поиск оптимального метода зондирования для конкретного измерительного комплекса.

Список литературы: 1. *Рогожкин Е.В., Мазманшвили А.С.* Зондирующие сигналы для исследования ионосферы методом НР. 1. Структурные особенности – Вестн. Харьк. Гос. политехн. ун-та., 1999, вып. 31, с. 54-60. 2. *Черняев С.В.* – Вестн. Харьк. политехн. ин-та, №170. Исследование ионосферы методом НР, вып. 2 – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980, с. 24-28. 3. *Андреев А.Е.* Особенности применения кодов Баркера в методе НР, Харьк. политехн. ин-та. – 1987. – №248: Исследование ионосферы методом НР. – Вып.5. – с.38-40. 4. *Емельянов Л.Я., Склиров И.Б., Черняев С.В.* Вопросы снижения влияния зондирующего сигнала на точность измерения скорости движения ионосферной плазмы, Вестник Нац. Техн. Ун-та “ХПИ” – 2002. – №9 Том 5. – с.25-28. 5. *Брейтбарт А.Я.* Детали и элементы радиолокационных станций, Издательство “Советское радио”, Москва - 1952.

Поступила в редколлегию 08.04.03