

**РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ И АППАРАТУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ
ТЕСТИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ РАДАРА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ****Введение**

Измерения параметров ионосферы методом некогерентного рассеяния (НР) являются прецизионными, поскольку полезный НР сигнал, будучи шумоподобным, принимается на фоне космического и аппаратурного шума (отношение сигнал/шум составляет величину от нуля до нескольких десятков), параметры сигнала зависят от состояния ионосферы и могут значительно изменяться, в частности, при ее возмущении [1]. Чрезвычайно прецизионными являются измерения скорости движения ионосферной плазмы, что связано с необходимостью определять доплеровское смещение спектра НР сигнала, на 2 – 3 порядка меньшее ширины этого спектра [2, 3].

Погрешность измерения параметров НР сигнала, а значит, и параметров ионосферы, может быть вызвана аппаратурными факторами.

Актуальной задачей является обеспечение контроля параметров систем радаров НР как при подготовке его к измерениям, так и во время проведения измерений ионосферных параметров, с целью обнаружения источников погрешности, ее исключения или учета при обработке полученной информации.

Часть процедур, связанных с подготовкой радаров к измерениям, осуществляется при выключенном радиопередающем устройстве (РПУ), а ряд процедур требует работы РПУ, которое потребляет значительную мощность (импульсная мощность РПУ радаров НР Института ионосферы в обычных режимах работы составляет 2 МВт, средняя потребляемая мощность порядка 100 кВт). Поэтому в настоящее время актуальность также состоит в необходимости оперативного контроля с минимальными затратами времени и электроэнергии.

Вопросы, связанные с контролем радаров, рассматривались рядом авторов (см., например, [4 – 10]). Так, для экспериментальной проверки точности измерения параметров НР сигнала были разработаны способы формирования контрольного сигнала путем пропускания белого шума через линейный фильтр (при этом спектральная плотность мощности сигнала на выходе фильтра определяется его амплитудно-частотной характеристикой) [7, 11, 12], суммирования большого числа независимых гармонических сигналов со случайными начальными фазами [8, 10, 13 – 15].

В составе аппаратуры радаров НР Института ионосферы имеется устройство контроля, основанное на формировании спектра сигнала, подобного НР сигналу, с помощью генератора белого шума на стабилитроне и фильтров нижних частот [7]. Контрольный сигнал, вырабатываемый этим устройством на частоте, близкой к несущей частоте радаров, подается по эфиру на антенно-фидерное устройство радаров. Этот сигнал используется для контроля измерения огибающей корреляционной функции шумоподобного сигнала и связанных с ней параметрами ионосферы – температур ионов и электронов, а также для измерения характеристики восстановления разрядников антенного коммутатора по окончании излучения зондирующего сигнала. Однако контроль измерения скорости плазмы с помощью устройства [7] проблематичен в связи с отсутствием когерентного формирования сигнала на несущей частоте и взаимной нестабильностью центральной частоты спектра контрольного сигнала и рабочей частоты приемника при неравном нулю имитируемом доплеровском сдвиге. Ограничение функциональности устройства также связано с формированием всего трех сигналов с отличающимися спектрами, что связано с наличием трех фильтров, формирующих спектр.

Измерение характеристики антенного коммутатора осуществляется также с помощью гармонического сигнала, формируемого высокостабильным генератором, не связанным с радаром [6, 9]. Проверяется также точность измерения скорости плазмы. Однако целесообразно осуществлять ее контроль по имитируемому доплеровскому смещению не только частоты гармонического сигнала, но и спектра шумоподобного контрольного сигнала.

Цель работы – разработка многофункционального устройства формирования сигналов для тестирования передающих, приемных и обрабатывающих систем радара НР и контроля точности измерения параметров ионосферы методом НР, в том числе скорости движения ионосферной плазмы.

Аппаратурные факторы, влияющие на точность определения параметров ионосферы методом НР

Параметры ионосферы определяются по измеренной корреляционной функции НР сигнала, которая однозначно связана с его спектром (описание харьковского радара НР, режимов его работы и методик обработки приведено в [3 – 6, 16 – 21]).

Спектр НР сигнала зависит от ряда параметров ионосферы, таких как температура ионов, температура электронов и ионный состав, которые изменяются с высотой и зависят от уровня солнечной активности, сезона, времени суток, а также состояния космической погоды. При движении ионосферной плазмы спектр НР сигнала сдвигается на величину доплеровского смещения, а при наличии токов в ионосфере появляется его перекося.

В то же время на спектр принимаемого сигнала, а также на другие его параметры, может оказывать влияние ряд аппаратурных факторов. К ним, в частности, относятся:

- изменение коэффициента передачи приемного тракта на протяжении радиолокационной развертки, вызванное, в основном, процессом восстановления разрядников антенного коммутатора после окончания излучения зондирующего сигнала;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики приемного тракта;
- наличие собственного шума приемного тракта;
- неточность установки сдвига фазы между двумя сигналами синхронного гетеродина, которые используются для выделения квадратурных составляющих НР сигнала.

Некоторые из факторов являются устранимыми, а другие – учитываются в процессе обработки.

Для контроля аппаратурных факторов, влияющих на точность определения параметров ионосферы, и измерения характеристик, используемых для коррекции данных в процессе обработки, необходимо использовать устройство формирования контрольного сигнала (устройства контроля).

Особые требования к устройству контроля

1. Возможность синтеза гармонических и шумоподобных сигналов с задаваемыми параметрами.
2. Прецизионность:
 - высокая точность установки сдвига центральной частоты спектра контрольного сигнала относительно рабочей частоты радара ($f_0=158$ МГц) и промежуточных частот контролируемых трактов – до 0,1–0,5 Гц;
 - формирование сигналов, нестабильность частоты (или центральной частоты спектра) которых относительно рабочей частоты радара НР f_0 не превышает 0,1 Гц;
 - симметрия спектра контрольного сигнала относительно его центральной частоты.
3. Удобство в управлении для оперативного контроля.
4. Обеспечение электромагнитной совместимости с системами радара НР.

Сигналы для контроля радара НР. Предлагается устройство формирования контрольного сигнала, которое позволяет, благодаря когерентной структуре, контролировать измерение параметров ионосферной плазмы, включая скорость ее движения, а также синтезировать контрольный сигнал нескольких видов:

- гармонический сигнал со смещением частоты (задается программно) относительно рабочей частоты радара;
- шумоподобный сигнал с равномерным спектром в избираемой полосе частот;
- сигнал, подобный НР сигналу для различных состояний ионосферы с параметрами, которые задаются программным способом.

Для контроля во время ионосферных измерений можно использовать радиоимпульсный синтезированный сигнал, который подается в контролируемый тракт на участках радиолокационной развертки дальности, где НР сигнал отсутствует. Для тестирования радара при подготовке к измерениям может использоваться (в зависимости от контролируемого параметра) радиоимпульсный или непрерывный сигнал. Сигналы радара НР во время ионосферных измерений изображены на рис. 1. Типы синтезируемых сигналов приведены на рис. 2.

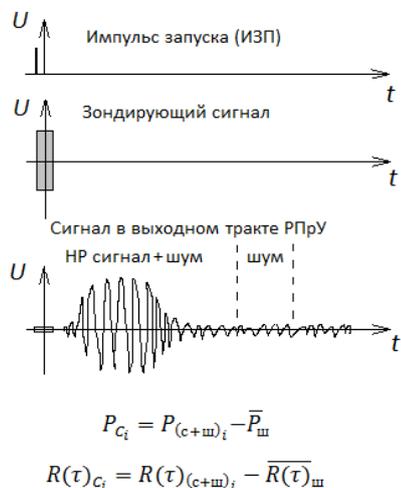


Рис. 1. Сигналы радара НР во время ионосферных измерений

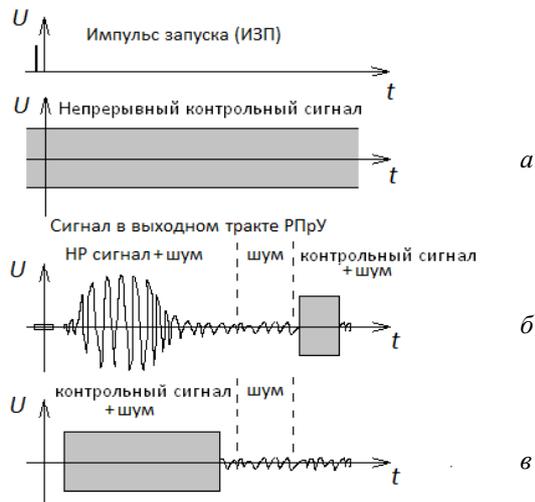


Рис. 2. Применение контрольного сигнала при тестировании аппаратуры (а, в) и во время ионосферных измерений (б)

Здесь ИЗП – импульс запуска передатчика. Период следования ИЗП соответствует длительности радиолокационной развертки (около 40 мс). Статистические параметры НР сигнала (мощность P_{Ci} и корреляционная функция $R(\tau)_{Ci}$) для каждого конкретного i -го участка развертки определяются при обработке в виде разности соответствующих параметров смеси сигнал+шум и усредненных параметров шума, измеренных на участках развертки, где НР сигнал отсутствует (см. рис. 1).

Устройство контроля в составе радара НР. Функциональная схема работы устройства контроля в составе радара НР изображена на рис. 3.

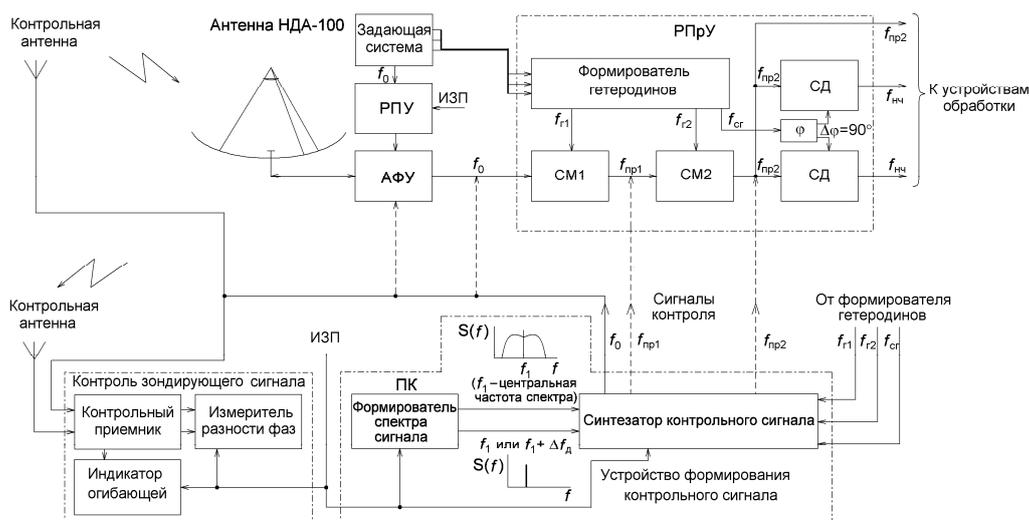


Рис. 3. Функциональная схема работы устройства контроля в составе радара НР

Здесь показаны структурные элементы в составе радара: антенна, антенно-фидерное устройство (АФУ), радиопередающее устройство (РПУ), радиоприемное устройство (РПрУ) со смесителями (СМ) и синхронными детекторами (СД), а также элементы устройства контроля: имитатор сигналов, состоящий из формирователя спектра сигнала и синтезатора контрольного сигнала, и элементы контроля зондирующего радиосигнала.

Формирователь спектра сигнала – это персональный компьютер с оригинальным программным обеспечением и встроенной звуковой картой, которая формирует на выходе ее цифро-аналогового преобразователя сигнал с необходимыми характеристиками (такими как спектральная плотность мощности и закон распределения).

Синтезатор контрольного сигнала осуществляет перенос спектра сформированного сигнала на рабочую частоту радара f_0 , а также на промежуточные частоты (ПЧ) $f_{пр1}$ и $f_{пр2}$, для контроля всех каскадов приемно-обрабатывающего тракта радара НР.

Элементы контроля зондирующего радиосигнала содержат двухканальный радиоприемник, индикатор огибающей радиоимпульса и измеритель мгновенной разности фаз между принятым с помощью контрольной антенны зондирующим сигналом и сигналом устройства контроля с частотой f_0 . ИЗП служит для синхронизации и стробирования.

Для обеспечения когерентности используются сигналы первого, второго и синхронного гетеродинов РПрУ радара с частотами $f_{г1}$, $f_{г2}$ и $f_{ср}$ [16, 18]. Доплеровский сдвиг спектра контрольного сигнала имитируется смещением частоты вспомогательного сигнала на величину Δf_d .

Контрольный сигнал может подаваться (непрерывно или на определенном участке радиолокационной развертки) на вход радиоприемного устройства непосредственно, либо с помощью контрольной антенны по эфиру через антенно-фидерный тракт радара, а также в тракты первой $f_{пр1}$ и второй $f_{пр2}$ промежуточных частот РПрУ (см. рис. 3).

Длительность и задержка начала контрольного сигнала относительно ИЗП устанавливается экспериментатором.

Структурная схема устройства формирования контрольного сигнала

В результате анализа параметров контрольного сигнала, которые должно обеспечить устройство, с учетом особенностей радара НР, а также на основании указанных выше требований была разработана структурная схема устройства формирования контрольного сигнала, которая изображена на рис. 4.

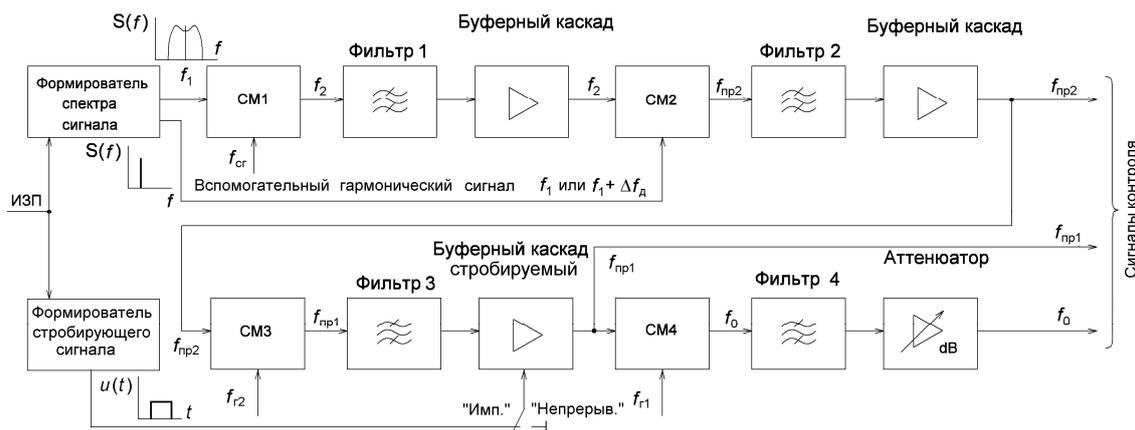


Рис. 4. Структурная схема устройства формирования контрольного сигнала

Устройство включает в себя формирователь (на базе ПК) сигнала с центральной частотой спектра f_1 и вспомогательного гармонического сигнала, а также тракт переноса спектра контрольного сигнала на несущую частоту радара f_0 , выполненный на основе четырех смесителей СМ1–СМ4.

Формирователь спектра сигнала. Принцип формирования шумоподобного сигнала основан на его синтезе в виде суммы гармонических составляющих со случайными фазами и амплитудами, которые соответствуют рассчитанным по параметрам ионосферы спектрам [13, 22]:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{S_i} \sin(2\pi f_i t + \theta_i). \quad (1)$$

Здесь S_i – значение составляющей энергетического спектра, который задается для синтеза, f_i – частота; θ_i – случайная начальная фаза, равномерно распределенная на интервале $[-\pi, \pi]$. При $S_i = const$ формируется шумоподобный сигнал с равномерным спектром, а при $N = 1$ – гармонический сигнал.

Структурная схема формирователя спектра представлена на рис. 5.

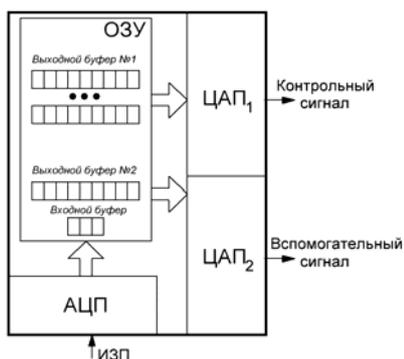


Рис. 5. Структурная схема формирователя спектра сигнала

Для работы со звуковой платой используется библиотека BASS [23]. Контрольный и вспомогательный сигналы формируются с помощью двух ЦАП, работающих в 16-разрядном режиме. Сигнал ИЗП, необходимый для синхронизации работы формирователя спектра, поступает на микрофонный вход звуковой платы. Задержка между ИЗП и началом формирования сигнала задается программно. Алгоритм работы программы-формирователя спектра показан на рис. 6.

Инициализация звуковой платы включает выбор устройства, которое будет производить вывод сигнала (ПК может иметь несколько звуковых плат), установку частоты дискретизации АЦП равной 44100 Гц, что достаточно для формирования сигнала со спектром на центральной частоте 15 кГц и шириной единицы килогерц (таким спектром обладает сигнал, некогерентно рассеянный областью ионосферы, представленной ионами атомарного кислорода), а также выделение памяти для выходных буферов. Режим работы формирователя выбирается с клавиатуры в текстовом окне. Для работы устройства в режиме реального времени целесообразно применение заранее рассчитанных выборок сигналов, так как вычисления по формуле (1) при большом количестве гармонических составляющих N являются относительно ресурсоемкими. Как показывает опыт формирования шумоподобных сигналов на ПК с использованием данного способа [10], применение табличных значений функции синуса и уменьшение количества гармоник негативно сказывается на качестве имитации сигнала. Расчет вспомогательного сигнала и запись его мгновенных значений в соответствующий буфер производится однократно. Многократное воспроизведение этого сигнала осуществляется аппаратным способом в сигнальном процессоре звуковой платы. Во время ожидания прихода ИЗП заполняется входной буфер звуковой платы одной из реализаций сигнала с заданным спектром. Простейший алгоритм формирования нужной задержки относительно фронта ИЗП может обеспечить ее значение от 5 мс. Для получения меньшей задержки необходимо учитывать информацию о времени поступления ИЗП предыдущей радиолокационной развертки. Вывод контрольного сигнала на звуковую плату осуществляется сменой рабочего выходного буфера звуковой платы на заранее подготовленный (во время ожидания ИЗП) входной буфер.



Рис. 6. Алгоритм работы программы-формирователя спектра

Синтезатор контрольного сигнала. Для того чтобы перенести спектр синтезируемого сигнала на рабочую частоту радара НР с точностью до выбранного смещения частоты Δf_d и соблности когерентность, используют четырехкратное преобразование частоты (см. рис. 4). От формирователя спектра сигнала на синтезатор поступает гармонический сигнал с частотой f_1 , или сигнал с равномерным спектром с центральной частотой f_1 , или сигнал, подобный НР сигналу, с той же центральной частотой. Также подается вспомогательный сигнал (непрерывный или радиоимпульсный) с частотой f_1 или (для имитации доплеровского смещения) $f_1 + \Delta f_d$. В результате преобразования сигналов в смесителях СМ1 и СМ2 спектр контрольного сигнала переносится на вторую ПЧ $f_{пр2}$, в СМ3 – на первую ПЧ $f_{пр1}$, а в СМ4 – на несущую частоту f_0 .

Для расчета параметров и выбора элементов устройства контроля были проанализированы характеристики НР сигнала для различного состояния ионосферы как по международной модели ионосферы IRI-2007 [24], так и с использованием реальных данных измерений с помощью радара НР. На рис. 7 приведены в качестве примера спектры НР сигнала для ряда высот в условиях высокой солнечной активности [25].

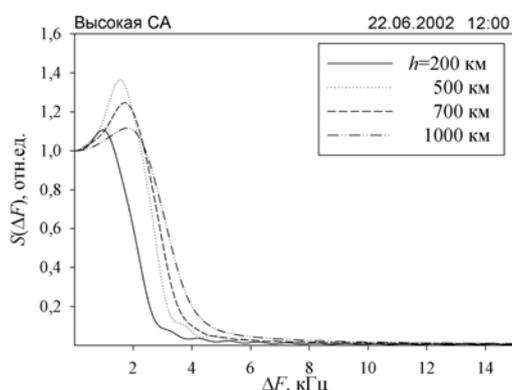


Рис. 7. Спектры НР сигнала в области низких частот, измеренные с помощью радара НР для ряда высот ионосферы

В результате анализа выяснено, что при имеющейся звуковой карте формирователя спектра целесообразно синтезировать шумоподобный контрольный сигнал с полушириной спектра до 5 кГц. Исходя из этого выбрана частота вспомогательного сигнала $f_1 = 15$ кГц.

Величина имитируемого смещения Δf_d выбрана в диапазоне $-500 \dots +500$ Гц, исходя из реальных значений доплеровского смещения спектра НР сигнала.

Принцип формирования сигналов устройства контроля (см. рис. 4) иллюстрируется табл. 1.

Принцип формирования сигналов устройства контроля (см. рис. 4) иллюстрируется табл. 1.

Таблица 1

Частоты гетеродинов (от РПРУ)	Частоты синтезируемых сигналов	Примечания
$f_{r1} = 173,0312$ МГц	$f_1 = 15$ кГц (центральная частота спектра)	Гармонический или случайный сигнал с заданным спектром
$f_{r2} = 16$ МГц	$f_1 = 15$ кГц или $f_1 + \Delta f_d$ $= 14,5 \dots 15,5$ кГц	Вспомогательный гармонический сигнал (Δf_d – задаваемое имитируемое доплеровское смещение, $\Delta f_d = -500 \dots 0 \dots 500$ Гц с шагом 1 Гц)
$f_{cr} = 972,4$ кГц	$f_2 = f_1 + f_{cr} = 987,4$ кГц	СМ1
	$f_{пр2} = f_2 - f_1 = 972,4$ кГц	СМ2
	$f_{пр1} = f_{r2} - f_{пр2} = 15,0276$ МГц	СМ3
	$f_0 = f_{r1} - f_{пр1} = 158,0036$ МГц	СМ4

В качестве основного элемента смесителей была выбрана микросхема двойного балансного смесителя SA612A. Выбор именно этой микросхемы объясняется ее характеристиками, удовлетворяющими по таким параметрам, как диапазон рабочих частот (не менее чем до 500 МГц), входное и выходное сопротивления (1,5 кОм), коэффициент шума (до 6 дБ) и достаточно эффективное подавление паразитных сигналов [26]. Полосовые фильтры применены для фильтрации побочных продуктов преобразования.

Буферные каскады предназначены для согласования входных и выходных сопротивлений узлов и исключения влияния последующих каскадов на предыдущие. Регулируемый аттенуатор служит для дополнительной установки напряжения выходного сигнала на несущей частоте

в необходимых пределах 0–25 мкВ (основная установка уровня напряжения каждого из выходных сигналов осуществляется программно с помощью формирователя спектра сигнала).

Импульсный или непрерывный режим работы устройства обеспечивается программно в формирователе спектра сигнала прерыванием сигнала, поступающего на СМ1 или (во избежание переходных процессов в наиболее узкополосных фильтрах 1 и 2) с помощью формирователя импульсного стробирующего сигнала и электронного ключа в стробируемом буферном каскаде. Во втором случае на СМ1 подается непрерывный сигнал, а переключатель устанавливается в положение «Имп.».

Требования к полосовым фильтрам на выходах смесителей. Для всех фильтров: неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в полосе спектра контрольного сигнала ($2\Delta f=10$ кГц) – не более 0,1 дБ; подавление внеполосных помех – не менее 40 дБ.

Исходя из этих условий сформулированы основные требования к каждому конкретному фильтру, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расположение фильтров	Ширина полосы пропускания	Ширина полосы задержания (по уровню 40 дБ)
СМ1 и СМ2	не менее 10 кГц (при неравномерности АЧХ не более 0,1 дБ)	≤ 30 кГц
СМ3	590 кГц	$\leq 1,8$ МГц
СМ4	4,9 МГц	≤ 15 МГц

Особые требования к ширине полосы пропускания и ширине полосы задержания АЧХ предъявляются к фильтрам, стоящим после смесителей СМ1 и СМ2. Это обусловлено тем, что разница между частотой гетеродина $f_{гг}$ на входе СМ1, а также сигнала f_1 на входе СМ2, и центральной частотой спектра сигнала на выходе соответствующего смесителя (f_2 и $f_{пр2}$) достаточно мала (15 кГц) и соизмерима с шириной синтезируемого спектра сигнала ($2\Delta f=2\dots 10$ кГц). Наиболее приемлемыми для всех фильтров являются фильтры типа Кауэра. Основные характеристики рассчитанных фильтров приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расположение фильтра	Порядок фильтра	Затухание в полосе пропускания ΔA , дБ	Затухание в полосе задержания A_s , дБ	Рабочая частота, МГц
СМ1 и СМ2	5	0,039	60,8	0,9874 и 0,9724
СМ3 и СМ4	3	0,011	52,82	15,0276 и 158,0036

Функционирование устройства контроля. Для проведения контроля узлов радара НР осуществляется подключение к контролируемому узлу соответствующего выхода устройства контроля. Вводятся в ПК входные данные (тип сигнала, его характеристики – напряжение, длительность, задержка по отношению к ИЗП, для гармонического сигнала – частота, для случайного сигнала с равномерным спектром – ширина спектра и имитируемое доплеровское смещение, для сигнала-аналога НР сигналу – значения имитируемых температур ионов и электронов, скорости движения плазмы, длительности зондирующего импульса). При использовании сигнала на несущей частоте дополнительно устанавливается необходимое ослабление регулируемого аттенюатора. В случае контроля с использованием имитируемого НР сигнала его спектр рассчитывается автоматически с учетом длительности зондирующего радиоимпульса в соответствии с выражениями, представленными в [25, 27].

Выводы

Разработанное устройство формирования сигналов для тестирования систем радаров НР позволяет:

– оперативно контролировать точность определения параметров ионосферы, таких как температуры ионов и электронов, скорость движения ионосферной плазмы;

– контролировать такие параметры систем радаров, как амплитудную и фазовую стабильность параметров радиопередающего и приемно-обрабатывающего трактов (как долговременную, так и на протяжении радиолокационной развертки), чувствительность и амплитудно-частотную характеристику РПрУ, точность установки фазового сдвига при формировании квадратурных сигналов и др.;

– тестировать и оптимизировать алгоритмы и программы обработки сигнала.

Предложенное устройство контроля позволяет осуществлять оперативный контроль систем радаров при подготовке к ионосферным измерениям, значительно сокращая время на нее, и в период измерений.

Список литературы: 1. Эванс, Дж.В. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн / Дж.В. Эванс // ТИИЭР. – 1969. – Т. 57, № 4. – С. 139–175. 2. Емельянов, Л.Я. Влияние характеристик зондирующего сигнала и радиоприемного тракта на точность измерения скорости дрейфа ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния / Л.Я. Емельянов // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Физические аспекты современных технологий : сб. науч. тр. – Харьков : ХГПУ, 2000. – Вып. 103. – С. 34–38. 3. Емельянов, Л.Я. Оптимизация приема и обработки НР сигнала для повышения точности определения скорости переноса ионосферной плазмы / Л.Я. Емельянов // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. – № 35. – С. 79–84. 4. Емельянов, Л.Я. Контроль поляризации и стабильности параметров радаров некогерентного рассеяния / Л.Я. Емельянов, И.Б. Скляр, С.В. Черняев, А.А. Полеткин // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. – Харьков : НТУ «ХПИ», – 2001. – № 4. – С. 85–88. 5. Емельянов, Л.Я. Обеспечение достоверности определения скорости дрейфа ионосферной плазмы методом некогерентного рассеяния / Л.Я. Емельянов, И.Б. Скляр // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып.: Радиофизика и ионосфера. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. – № 7, т. 4. – С. 35–40. 6. Emel'yanov, L.Ya. Incoherent Scatter Measurement of the Electron Density Altitude Profiles / L.Ya. Emel'yanov // Geomagnetism and Aeronomy. – 2002. – V 42, N 1. – P. 109–113. 7. Скляр, И.Б. Устройство формирования контрольного сигнала радаров некогерентного рассеяния / И.Б. Скляр // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. : сб. науч. тр. – Харьков, 1999. – Вып. 31. – С. 117–119. 8. Лысенко, В.Н. Синтез модели НР-сигнала / В.Н. Лысенко // Вестн. Харьк. политехн. ин-та: Исследование ионосферы методом НР. – 1987. – № 248. – Вып. 5. – С. 21–24. 9. Цуркан, А.В. Учет влияния антенного коммутатора на определение параметров ионосферы / А.В. Цуркан // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Физические аспекты современных технологий. сб. науч. тр. – Харьков : ХГПУ, 2000. – Вып. 103. – С. 113–115. 10. Богомаз, А.В. Программно-аппаратный комплекс для имитации некогерентно рассеянного сигнала / А.В. Богомаз, Д.А. Искра // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Сер.: Радиофизика и ионосфера. – Харьков : НТУ «ХПИ». – № 33 (1066) – 2013. – С. 3–7. 11. Лысенко, В.Н. Имитация НР-сигнала / В.Н. Лысенко, А.А. Капустян, А.В. Бруско // Вестн. Харьк. политехн. ин-та: Исследование ионосферы методом НР. – Харьков : ХПИ, 1986. – № 234, Вып. 4. – С. 60–64. 12. Скляр, И.Б. Синтез фильтров для получения шумоподобного сигнала, имитирующего некогерентно рассеянный сигнал / И.Б. Скляр // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. Физические аспекты современных технологий : сб. науч. тр. – Харьков : ХГПУ, 2000. – Вып. 103. – С. 107–109. 13. Богомаз, А.В. Моделирование случайного сигнала с заданной спектральной плотностью мощности / А.В. Богомаз // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. «Автоматика и приборостроение». – Харьков, 2009. – № 23. – С. 29–32. 14. Лялюк, А.И. Исследование цифровых имитаторов сигнала некогерентного рассеяния / А.И. Лялюк, Е.В. Рогожкин // Междунар. науч. конф. MicroCAD: Секція № 17 – Навколосезний космічний простір. Радіофізика та іоносфера : тез. докл. – НТУ «ХПИ». – 2009. – С. 175. 15. Рогожкин, Е.В. Анализ возможности контроля результатов ионосферных измерений при НР / Е.В. Рогожкин, Д.П. Белозеров // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Серия: Радиофизика и ионосфера. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2002. – № 9, т. 5. – С. 61–64. 16. Domin, I.F. Kharkiv Incoherent Scatter Facility / I.F. Domin, Ya.M. Cherpurnyy, L.Ya. Emelyanov et al. // Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Scientific papers. Issue: Radiophysics and ionosphere. – Kharkiv : NTU "KhPI". – 2014. – No 47 (1089). – P. 28–42. 17. Емельянов, Л.Я. Минимизация погрешностей измерения скорости дви-

жения ионосферной плазмы / Л.Я. Емельянов, И.Б. Скляр // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып.: Радиофизика и ионосфера. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2002. – № 9, т. 5. – С. 29–33.

18. Емельянов, Л.Я. Радиоприемное устройство радара некогерентного рассеяния / Л.Я. Емельянов // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та : сб. науч. тр. – Харьков, 1999. – Вып. 31. – С. 108–112.

19. *Domnin, I.F.* Dynamics of the ionospheric plasma above Kharkiv during the January 4, 2011 solar eclipse / I.F. Domnin, L.Ya. Emelyanov, L.F. Chernogor // *Radio Physics and Radio Astronomy*. – 2012. – V. 3, No. 4. – P. 311–324. DOI: 10.1615/RadioPhysicsRadioAstronomy.v3.i4.50.

20. Богомаз, А.В. Пакет программ нового поколения для обработки данных радаров некогерентного рассеяния Unified Processing of the Results of Incoherent Scatter Experiments (UPRISE) / А.В. Богомаз, Д.В. Котов // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Сер.: Радиофизика и ионосфера. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – № 28 (1001). – С. 29–37.

21. *Yemelyanov, L.Ya.* The Peculiarities of Mid-Latitude Ionosphere Plasma Drift Velocity Determination / L.Ya. Yemelyanov, D.A. Dzyubanov // *Telecommunications Radio Engineering*. – 2007. – V. 66, No. 14. – P. 1313–1327).

22. Богомаз, А.В. Моделирование некогерентно рассеянного сигнала и высотного распределения его параметров / А.В. Богомаз // Вестн. Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып.: Радиофизика и ионосфера. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. – № 48 – С. 72–76.

23. *Un Developments Seen*, 2016. – Режим доступа: <http://www.un4seen.com/> – Дата обращения 30 сент. 2016.

24. *Bilitza, D.* International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters / D Bilitza, B. W. Reinisch // *Advances in Space Research*. – 2008. – Vol. 42, Iss. 4. – P. 599–609.

25. Емельянов, Л.Я. Квазиоптимальный прием сигналов некогерентного рассеяния / Л.Я. Емельянов, А.В. Богомаз, И.М. Касымов // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПИ» : зб. наук. праць. Серія: Радіофізика та іоносфера. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 37 (1146). – С. 79–86.

26. *SA612A* Double-balanced mixer and oscillator // Product data sheet. Rev. 3–4 June 2014. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SA612A.pdf.

27. Гринченко, С.В. Оптимальный алгоритм многократных вычислений теоретических характеристик некогерентно рассеянного сигнала / С.В. Гринченко // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та. : сб. науч. тр. – Харьков, 1999.– Вып. 7. – С. 331–336.

Институт ионосферы НАН и МОН Украины

Поступила в редколлегию 24.02.2017