

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ  
И ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**

УДК 621.371:551.508

**ЗОНДИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ НЕПРЕРЫВНЫМИ ЛЧМ-РАДИОСИГНАЛАМИ**

*В. А. Иванов, В. А. Фролов, В. В. Шумаев*

В последние годы в нашей стране для исследования ионосферы начинают применяться импульсные радиосигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [1-5]. В работах [1, 6] рассмотрены особенности распространения импульсных и непрерывных ЛЧМ-сигналов в ионосфере и отмечаются определенные преимущества непрерывного метода зондирования. Аппаратура, реализующая этот метод, в литературе получила название «Chirp-sounder» [7]. Сложность в ее создании заключается в необходимости формирования с хорошим качеством ЛЧМ-сигналов с базами  $10^8 - 10^9$ . Особенно высокие требования предъявляются (см., например, [1]) к линейности закона модуляции и спектральной чистоте сигнала.

Весной 1985 г. в Марийском политехническом институте была закончена разработка ЛЧМ-ионозонда непрерывного действия. Блок-схема его представлена на рис 1 а. В нее входят два ЛЧМ-генератора (1, 2), построенные по принципу синтезаторов многоуровневых сигналов (см., например, [8]), приемник (3) с полосой пропускания 150 Гц, анализатор спектра (4) параллельного типа, блок отображения ионограмм (5), усилитель мощности (6).

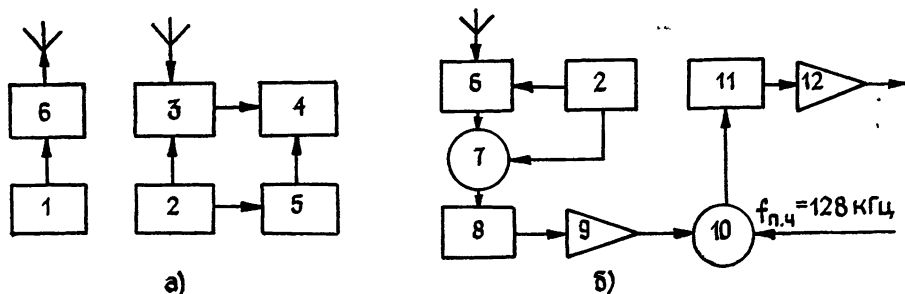


Рис. 1.

ЛЧМ-генератор работает в диапазоне частот 0,5—10 МГц, реализуя ступенчатое приближение линейного закона модуляции. Величина ступеньки равна 2 Гц, а ее длительность определяется значением  $df/dt$ . При переключениях частоты фаза сигнала сохраняется, что гарантирует его высокую спектральную чистоту (математические соотношения, определяющие работу синтезатора, приведены в [4]).

Блок-схема приемника представлена на рис. 1 б. В нее входят коммутируемые преселекторы (6), первый смеситель (7) и полосовой кварцевый фильтр (8) с центральной частотой  $f_{пч} = 128$  кГц и полосой пропускания 150 Гц, усилитель промежуточной частоты (9), второй смеситель (10) с фильтром нижних частот (11), усилитель низкой частоты (12). Мгновенная частота второго ЛЧМ-генератора (2), используемого в качестве гетеродина, отличается от частоты задающего ЛЧМ-генератора (1) на 128 кГц. В приемнике осуществляется принцип «сжатия» ЛЧМ-сигнала по частоте.

Низкочастотный анализатор спектра (4) параллельного типа (С4-54) имеет 200 каналов разрешения по частоте. При работе, как правило, использовалась полоса анализа 200 Гц.

В качестве усилителя мощности (6) ЛЧМ-сигнала использовался стандартный передатчик, диапазон излучаемых частот которого ограничивался его полосовыми фильтрами. В экспериментах использовались диапазоны 1,5—3,5 МГц и 3—7,5 МГц. Работа в первом из них давала возможность исследовать отражения от E-слоя, а во втором — от слоев F1 и F2. Мощность излучения составляла  $P \approx 40 \div 80$  Вт.

Блок отображения позволял регистрировать на фотопленку одновременно с ионограммой зависимость амплитуды отраженного сигнала от частоты, а также в виде фильма-спектрограммы отраженных сигналов через 7 кГц.

Лабораторные испытания показали, что оба ЛЧМ-генератора (1,2) обладают практически идентичными характеристиками, так как разность частот между их сигналами была строго постоянной, а уровень шумовых составляющих разностного сигнала в полосе анализа приемника был не хуже — 60 дБ

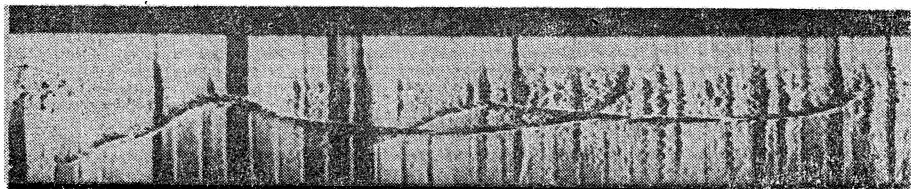


Рис 2.

Эксперименты по вертикальному зондированию ионосферы непрерывными ЛЧМ-сигналами проводились в апреле и мае 1985 г. на полигоне НИРФИ в п. Зименки Горьковской области, где располагался импульсный ионозонд, излучающий импульсы длительностью  $\tau_{\text{и}} = 100$  мкс, мощностью  $P_{\text{и}} \approx 5$  кВт.

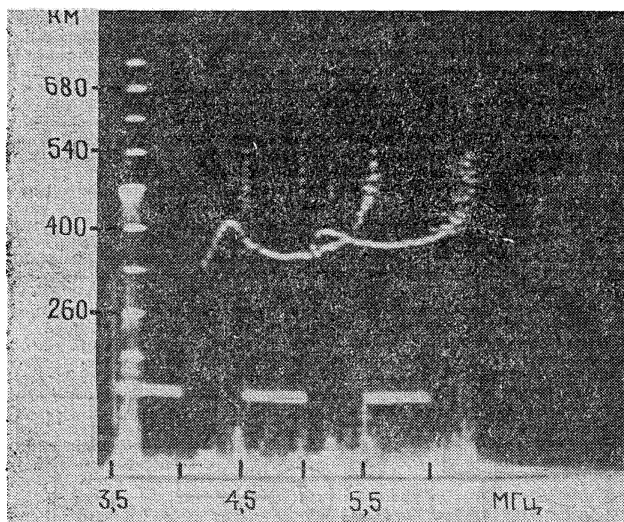


Рис. 3.

На рис. 2 в качестве примера приведен фильм из спектрограмм, построенных для диапазона частот 3—7,5 МГц, из которого можно получить наглядную информацию о величине «зеркально» отраженных и рассеянных сигналов, возникающих при непрерывном ЛЧМ-зондировании ионосферы. Такие фильмы оказываются полезными при исследованиях динамики отражений. Фильм спектрограмм существенно дополняет традиционную ионограмму, пример которой приведен на рис. 3. Здесь также содержится частотная зависимость амплитуды отраженных сигналов. Сведения о последней могут быть полезны при исследованиях ионосферных возмущений различной природы.

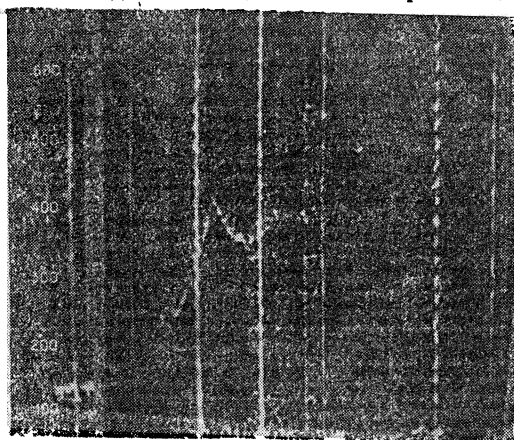


Рис. 4.

Сравнение полученных одновременно ионограмм импульсного (см. рис. 4) и ЛЧМ-зондирования (рис. 3) ионосферы показало, что первые в значительно большей степени «поражены» помехами. Это свидетельствует о том, что энергетический потенциал ЛЧМ-ионозонда с  $df/dt = 100$  кГц/с и  $P \sim 40 \div 80$  Вт существенно выше потенциала импульсного зонда с  $\tau_{\text{и}} = 100$  мкс и  $P_{\text{и}} \approx 5$  кВт. Кроме этого данный ЛЧМ-ионозонд обладает примерно в пять раз большей потенциальной разрешающей

способностью по дальности (см, например, [4]). Следует отметить высокую помехозащищенность ЛЧМ-аппаратуры, которая позволяла получать качественные ионограммы в то время, когда в непосредственной близости от нее в диапазоне ее частот ра-

ботал мощный КВ передатчик с  $P=150$  кВт. При этом данный передатчик был электромагнитно несовместим с импульсным ионозондом. Этот результат говорит о том, что ЛЧМ-ионозонд может служить хорошим диагностическим средством искусственных возмущений ионосферы, создаваемых сигналами мощных КВ передатчиков.

Полная идентичность параметров двух ЛЧМ-генераторов позволяет использовать данный ионозонд для наклонного зондирования ионосферы и исследования ионосферного распространения декаметровых радиоволн.

В заключение авторы выражают благодарность Л. М. Ерухимову за внимание к работе и Л. В. Гришкевичу за предоставленные данные по импульсному зондированию ионосферы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. А., Фролов В. А., Шумаев В. В. Статья депонирована в ВИНТИ, рег. № 3824-84. Деп. от 28 мая 1984 г.
2. Намазов С. А., Рыжкина Т. Е. В кн.: Распространение радиоволн. — М.: Наука, 1975, с. 262.
3. Безрученко Л. И., Беленький М. И., Иванов А. В. В кн.: XIV Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Ч. I. — М.: Наука, 1984, с. 53.
4. Зиничев В. А., Иванов В. А., Фролов В. А., Шумаев В. В. — Изв. вузов — Радиофизика (в печати).
5. Беленов А. Ф., Зиничев В. А., Иванов В. А. и др. В кн.: XIII Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Ч. I. — М.: Наука, 1981, с. 12.
6. Иванов В. А. Статья депонирована в ВИНТИ, рег. № 3064-85. Деп. от 7 мая 1985 г.
7. Fenwick R. V. — Communications News, 1974, 11, № 2, p. 32.
8. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. / Пер. с англ. / Под ред. А. Г. Алексеенко. — М.: Мир, 1982.

Марийский политехнический институт

Поступила в редакцию 23 июля 1985 г.

УДК 621.371.246

### АМПЛИТУДНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ КОЛЛИМИРОВАННОГО ГАУССОВА ПУЧКА РАДИОВОЛН МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В ЛИНИЯХ ПОГЛОЩЕНИЯ КИСЛОРОДА АТМОСФЕРЫ

*Р. И. Курбатова, И. М. Фукс, Л. И. Шаранов*

На распространение волн миллиметрового диапазона в приземном слое атмосферы существенное влияние оказывают пульсации ее температуры и влажности, вызывающие флуктуации амплитуды и фазы волны при прохождении слоя турбулентной атмосферы. Флуктуационные явления, наблюдающиеся при распространении радиоволн в турбулентной атмосфере без учета их поглощения, подробно рассмотрены в работах [1, 2]. Учет ослабления плоской монохроматической волны субмиллиметрового диапазона в водяном паре атмосферы показал, что эффекты поглощения оказывают заметное влияние на величину флуктуаций амплитуды [3, 4]. В связи с тем, что экспериментальные данные об амплитудных флуктуациях в линиях поглощения водяного пара атмосферы [5] и кислорода [6, 7] были получены с использованием остронаправленных антенных систем, большой интерес представляет расчет вариаций амплитуды направленного пучка радиоволн. В [8] были получены расчетные формулы дисперсии флуктуаций уровня гауссова пучка миллиметровых волн для условий, когда поглощение практически не оказывает влияния на величину флуктуаций принимаемого сигнала.

В настоящей работе представлены результаты расчетов флуктуаций уровня коллимированного гауссова пучка радиоволн миллиметрового диапазона в линиях поглощения кислорода приземного слоя атмосферы ( $\lambda=5$  мм и 2,53 мм).

Поле коллимированного пучка в плоскости передающей апертуры имеет плоский фазовый фронт и записывается в виде

$$E_0(0, \rho) = A_0 e^{-\rho^2/2a^2}, \quad (1)$$

где  $a$  — радиус пучка по спадаанию мощности в  $e$  раз,  $\rho$  — поперечный к направлению оси пучка радиус-вектор с началом в центре пучка.

Флуктуации комплексной фазы  $\Psi$  на оси пучка (ось  $Ox$ ) на расстоянии  $L$  от плоскости передающей апертуры в случае слабого затухания (в смысле [3]) в первом приближении метода плавных возмущений имеют вид

$$\Psi(L) = \frac{k^2}{2\pi E_0(L, 0)} \int_0^L \frac{dx}{L-x} \iint_{-\infty}^{\infty} d\rho \delta N(x, \rho) E_0(x, \rho) \exp \left\{ ik \left[ L - x + \frac{\rho^2}{2(L-x)} \right] \right\}. \quad (2)$$