

УДК 621.396.96

УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА РЛК-Л ДЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЛУНА-РЕСУРС-1»

Б. В. Чернышев¹, И. Н. Дутьшев¹, В. М. Смирнов²

¹ Федеральное государственное унитарное предприятие
Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники
Российской академии наук, 141190,

Московская обл., г. Фрязино, пл. академика Б. А. Введенского, д.4

² Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова Российской академии наук,
141190, Московская область, г. Фрязино, пл. академика Введенского, д.1

Статья поступила в редакцию 6 ноября 2018 г.

Аннотация. Рассмотрен метод предварительной обработки ЛЧМ сигнала в радиолокационном комплексе РЛК-Л для космического аппарата «Луна-Ресурс-1» и приведена его иллюстрация.

Показано, что разрешающая способность радаров радиолокационного комплекса РЛК-Л, с предварительной обработкой на основе квадратурного фазового детектора ЛЧМ сигнала, определяется только полосой перестройки ЛЧМ сигнала. Проведен расчет разрешающей способности радиолокационного комплекса РЛК-Л для радаров «Радара-20» и «Радара-200».

Предложен способ увеличения разрешающей способности радиолокатора за счет увеличения количества циклов изменения частоты за тот же период T . Показано, что разрешающая способность будет увеличиваться прямо пропорционально количеству циклов изменения частоты за тот же период T .

Ключевые слова: разрешающая способность, радиолокационный комплекс РЛК-Л, ЛЧМ сигнал, обработка ЛЧМ сигнала.

Abstract. The method of preliminary processing of the LFM signal in the radar complex RLC-L for the spacecraft «Luna-Resurs-1» is considered. The illustration of this method is represented.

It is shown that the radar resolution ability of RLC-L radar complex with a

preliminary processing based on the quadrature phase detector of the LFM signal, is determined only by the signal tuning bandwidth. The calculation of resolution ability has been carried out for the radar complex RLC-L (for the «Radar-20» and «Radar-200»).

A method for increasing the resolving ability of a radar by increasing the number of cycles of frequency variation for the same period T is proposed.

Conclusions: the resolving ability will increase in direct proportion to the number of cycles of frequency variation for the same period T .

The limitation of the number of cycles of frequency tuning in the transmitting channel of the radar can be only the limitations in the capabilities of the equipment for fast and accurate linear frequency tuning and the increase in the influence on the width of the spectrum of the output signal of intermediate intervals between the tuning cycles.

Keywords: resolution ability, radar complex RLC-L, LFM signal, LFM signal processing.

1. Введение

Основные принципы обработки ЛЧМ сигнала, которые реализуются в РЛС, заключаются в следующем: после отражения от цели ЛЧМ сигнал принимается антенной и приходит на приёмник, далее сигнал проходит через корректирующий фильтр, где отделяется от помех и шумов, затем сигнал поступает на фильтр сжатия (оптимальный фильтр), где происходит сжатие сигнала – увеличение соотношения сигнал/шум, дальнейшая обработка оцифрованного либо аналогового сигнала заключается в извлечении из него необходимой информации [1-4].

Радиолокационный комплекс РЛК-Л для космического аппарата «Луна-Ресурс-1» состоит из двух радаров подповерхностного зондирования «Радара-20» и «Радара-200». «Радар-20» предназначен для определения структуры слоев грунта Луны на глубины до нескольких километров (зондирование осуществляется в диапазоне частот от 17,5 до 22,5 МГц),

«Радар-200» предназначен для исследования поверхности Луны и верхних слоев на глубины до десяти метров (зондирование осуществляется в диапазоне частот от 175 до 225 МГц).

При работе радиолокационного комплекса РЛК-Л для космического аппарата «Луна-Ресурс-1» полученные и предварительно обработанные, отраженные от поверхности и подповерхностных слоёв грунта Луны, сигналы оцифровываются, а их дальнейшая комплексная обработка проводится на Земле.

В приёмнике РЛК-Л для предварительной обработки в качестве оптимального фильтра применяется квадратурный фазовый детектор, на сигнальный вход которого подается отраженный сигнал, а на вход гетеродина ЛЧМ сигнал с передающего канала, задержанный на время прохождения сигнала до поверхности Луны и обратно.

В результате на выходе детектора образуется сигнал (отклик) на разностной частоте. Частота этого сигнала прямо пропорциональна расстоянию от поверхности Луны до объекта, расположенного в грунтовом слое под поверхностью, с учетом диэлектрической проницаемости слоёв, расположенных на пути прохождения сигнала [5,6]. При таком цикле и принципе работы с применением в качестве оптимального фильтра квадратурного фазового детектора, длительность отклика, а также разрешающая способность радиолокационного комплекса РЛК-Л определяется только полосой перестройки ЛЧМ сигнала.

2. Расчет разрешающей способности радиолокационного комплекса РЛК-Л

Иллюстрация реализованного метода обработки ЛЧМ сигнала в радиолокационном комплексе РЛК-Л показана на рис. 1. Во время от t_1 до t_4 на вход гетеродина квадратурного фазового детектора приходит задержанный излучаемый ЛЧМ сигнал на частотах в диапазоне от F_1 до F_2 (рис.1, прямая линия – 1), отраженный от неоднородности № 1, расположенной под поверхностью Луны (рис. 2) сигнал приходит во время от t_2 до t_5 (рис. 1, прямая линия – 2), отраженный сигнал от неоднородности № 2 приходит во время от t_3

до t_6 (рис.1, прямая линия – 3). На выходе квадратурного фазового детектора в каждый момент времени, при поступлении на его входы отраженных сигналов и гетеродина, образуются сигналы с частотами ΔF_1 и ΔF_2 , равными разности частот между гетеродином и отраженными сигналами от неоднородностей № 1 и № 2.

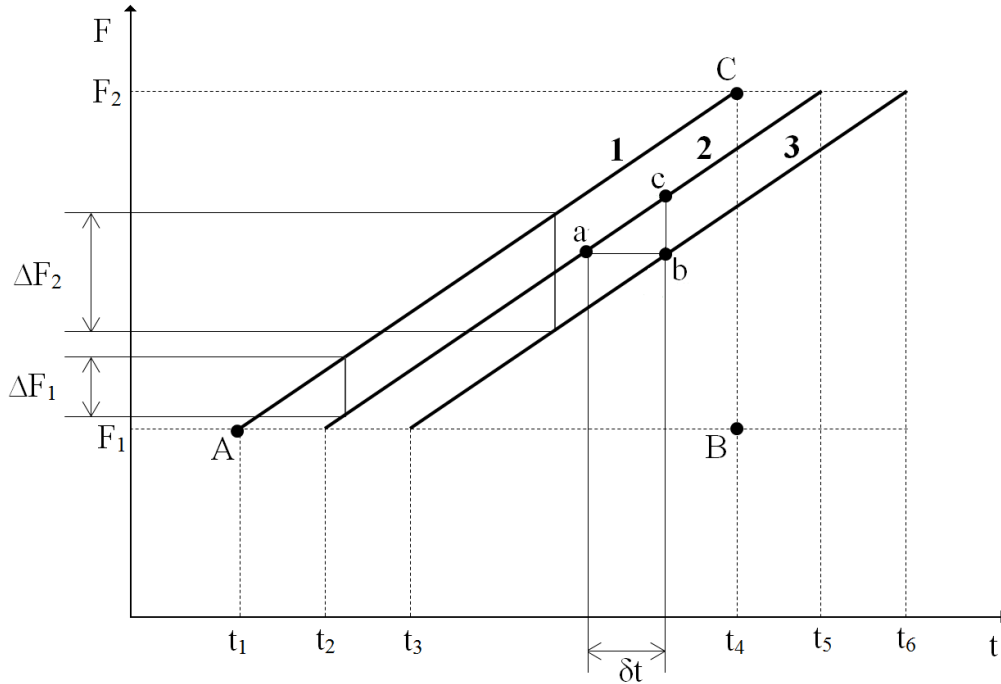


Рис. 1 Иллюстрация реализованного метода обработки ЛЧМ сигнала в радиолокационном комплексе РЛК-Л

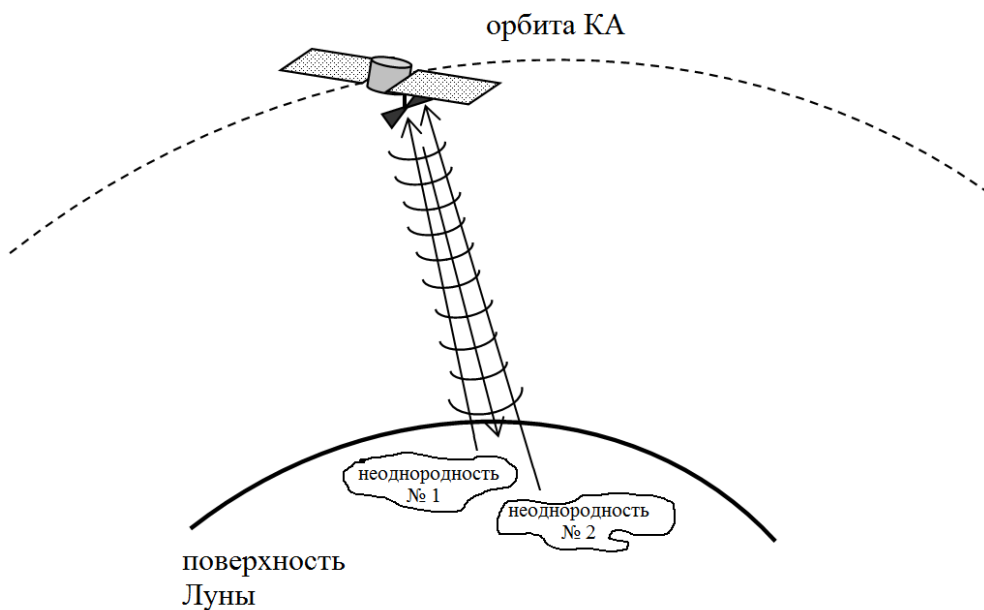


Рис. 2 Пример расположения неоднородностей под поверхностью Луны [2]

Спектр сигналов ΔF_1 и ΔF_2 приведен на рис. 3. Здесь δF_1 и δF_2 ширина спектров сигналов, отраженных от неоднородностей № 1 и № 2 соответственно, которая определяется длительностью сигналов по формулам (1) и (2).

$$\delta F_1 = \frac{1}{t_4 - t_2} \quad (1)$$

$$\delta F_2 = \frac{1}{t_4 - t_3} \quad (2)$$

Если время перестройки ЛЧМ сигнала $\Delta t = t_4 - t_1$ много больше времени задержки начала сигнала гетеродина и сигнала, отраженного от неоднородности № 2 ($t_3 - t_1$), то

$$\delta F \simeq \delta F_1 \simeq \delta F_2 = \frac{1}{\Delta t} \quad (3)$$

Определим разрешающую способность локатора при такой обработке отраженных сигналов. Будем считать, что сигналы, отраженные от неоднородностей, различимы, если расстояние между ними на спектральном графике не менее ширины спектра этих сигналов.

Из подобия треугольников (см. рис. 1) ABC и abc получим:

$$ab = \frac{bc * AB}{BC} \quad (4)$$

Учитывая, что: отрезку ab соответствует разрешающая способность по времени, необходимая для различимости отраженных сигналов по частоте, AB - время перестройки ЛЧМ сигнала, BC - полоса перестройки ЛЧМ сигнала по частоте и bc - минимальное расстояние между отраженными сигналами по частоте (δF), получим:

$$\delta t = \frac{\delta F \Delta t}{F_2 - F_1} \quad (5)$$

Подставим (3) в (5) и получим:

$$\delta t = \frac{1}{F_2 - F_1} \quad (6)$$

Из последнего выражения следует, что разрешающая способность определяется только полосой перестройки ЛЧМ сигнала.

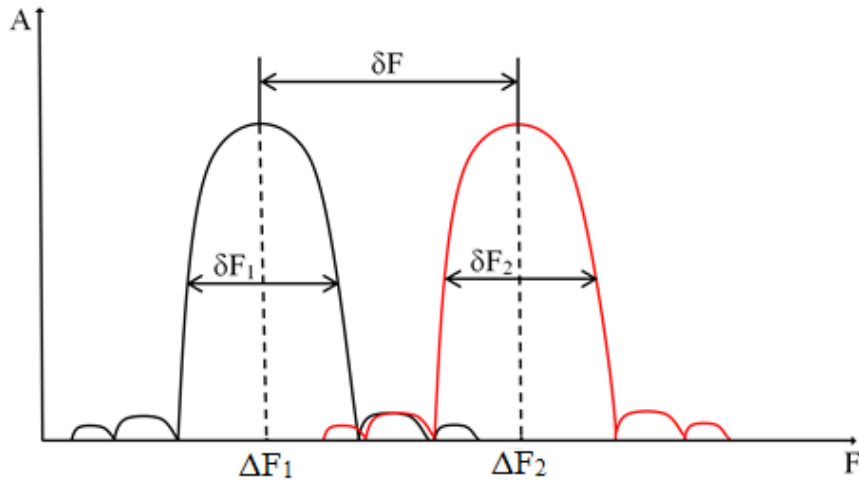


Рис. 3 Спектр разностных сигналов ΔF_1 и ΔF_2

3. Расчет разрешающей способности локатора при двух и n кратной перестройках частоты ЛЧМ сигнала за тот же период T

Рассмотрим случай, при котором излучаемый сигнал и сигнал гетеродина были перестроены дважды за период T (рис. 4), то есть частота изменялась за период T два раза.

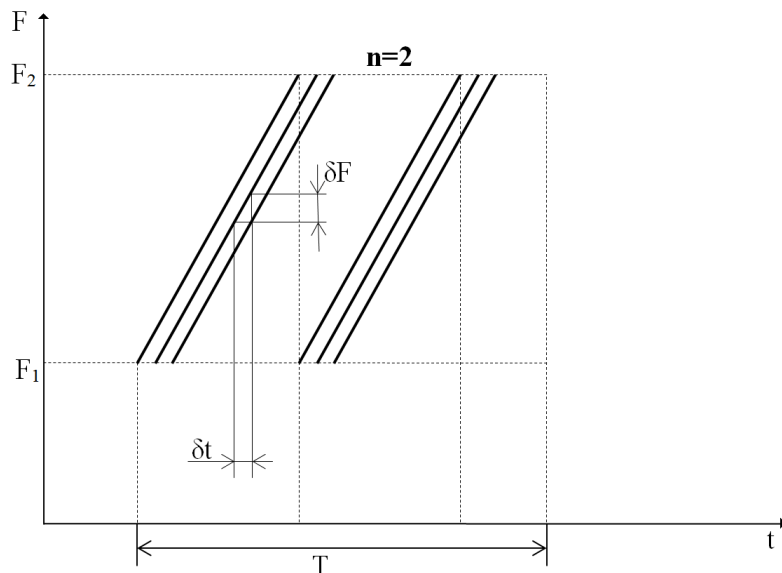


Рис. 4 Иллюстрация подачи гетеродина с двойной перестройкой сигнала за период T

В этом случае формула (5) будет иметь вид:

$$\delta t = \frac{\delta F * T}{2(F_2 - F_1)}, \quad \text{где} \quad (7)$$

$$\delta F = \frac{1}{T} \quad (8)$$

Подставим 8 в 7 и получим:

$$\delta t = \frac{1}{2(F_2 - F_1)} \quad (9)$$

Из формулы 9 следует, что при изменении частоты в два раза за период T разрешающая способность также увеличивается в 2 раза.

В случае изменения частоты n -раз за период T разрешающая способность соответственно увеличится в n -раз.

4. Заключение

В статье рассмотрен метод предварительной обработки ЛЧМ сигнала в радиолокационном комплексе РЛК-Л для космического аппарата «Луна-Ресурс-1» и приведена его иллюстрация.

Показано, что разрешающая способность радаров радиолокационного комплекса РЛК-Л с предварительной обработкой на основе квадратурного фазового детектора ЛЧМ сигнала определяется только полосой перестройки ЛЧМ сигнала. Проведен расчет разрешающей способности радиолокационного комплекса РЛК-Л для радаров «Радара-20» и «Радара-200».

Показано, что если в радаре сигнал передатчика перестроить дважды за тот же период T , то разрешающая способность увеличивается в 2 раза.

Показано, что разрешающая способность будет увеличиваться прямо пропорционально количеству циклов перестройки частоты n за период T . К примеру, если $n=1,5$ (сигнал за время T перестроился полтора раза) разрешающая способность увеличится в 1,5 раза.

Ограничением количества циклов перестройки частоты в передающем канале радара могут быть лишь ограничения в возможностях аппаратуры для быстрой и точной линейной перестройки частоты и увеличение влияния на

ширину спектра выходного сигнала промежуточных интервалов между циклами перестройки.

Литература

1. Власова К.В., Волхонская Е.В., Коротей Е.В., Пахотин В.А. Разрешающая способность сигналов с линейной частотной модуляцией // Современные проблемы науки и образования [электронный журнал]. 2014. № 5. Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14947>
2. Кочемасов В.Н., Кряжев В.П., Оконешников В.С. ЛЧМ сигналы с внутриимпульсной фазовой манипуляцией. // Радиотехника, 1980, Т. 35, № 2, с. 57 – 60
3. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов. – М.: Сов. радио, 1970. —376 с.
4. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Ч. Кук, М. Бернфельд. - М.: Советское радио, 1971. - 568 с.
5. Смирнов В.М., Юшкова О.В., Марчук В.Н., Абрамов В.В., Квылинский Ю.Ф., Ляхов Ю.Н. Проект «Луна-Глоб»: Радиолокационное зондирование грунта Луны // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58, № 9. с. 926-934
6. Смирнов В.М., Юшкова О.В., Марчук В.Н., Дутышев И.Н., Чернышев Б.В., Лаптев М.А. Исследование поверхности и строения грунта Луны многоцелевым радиофизическим комплексом РЛК-Л в проекте «Луна-Ресурс» / VII ВСЕРОССИЙСКИЕ АРМАНДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ, РАДИОЛОКАЦИИ, РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ДИФРАКЦИИ ВОЛН Россия, г. Муром 27 - 29 июня 2017 г. Материалы Всероссийской научной конференции [Электронный ресурс], 2017, с. 124-128

Для цитирования:

Б. В. Чернышев, И. Н. Дутышев, В. М. Смирнов. Увеличение разрешающей способности радиолокационного комплекса РЛК-Л для космического аппарата «Луна-Ресурс-1». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 11. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/nov18/6/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.11.6