

# СЕКЦИЯ IV РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И СВЯЗЬ

## ПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. С. Лопатченко, К. И. Меледин

Учреждение образования «Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники», г. Минск

Научный руководитель И. Ю. Малевич

Радиолокационные средства подповерхностного зондирования активно используются при исследовании верхнего слоя земной поверхности при проведении неразрушающего контроля строительных покрытий, выполнении мероприятий по обнаружению людей, находящихся в завалах, разминированию и обнаружению подземных коммуникаций.

В числе приборов, решающих задачу оперативного обнаружения приповерхностных и малозаглубленных (до  $1,5-2 \lambda$ ) объектов, особым образом выделяются радиолокационные обнаружители непрерывного действия (РОНД) с широкополосным линейно-частотно-модулированным излучением [1]–[5].

Работа РОНД основана на частотном методе измерения дальности. Как правило, РОНД выполнены по гомодинной схеме с отдельными излучающей (A1) и приемной (A2) антеннами (рис. 1).

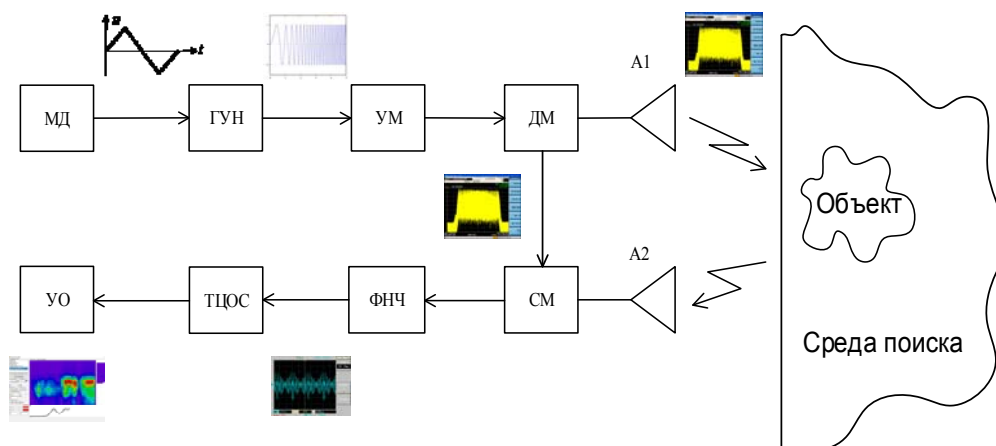


Рис. 1. Гомодинная схема с отдельными излучающей (A1) и приемной (A2) антеннами

Модулятор (МД) формирует пилообразное напряжение, которое подается на генератор, управляемый напряжением (ГУН), который обеспечивает формирование зондирующего широкополосного ЛЧМ-сигнала с законом модуляции  $U_{\text{мод}}$  (рис. 2, сплошная линия). Сформированный сигнал масштабируется в усилителе мощности (УМ), разделяется с помощью делителя мощности (ДМ) на опорную и зондирующую составляющие и подводится к гетеродинному входу смесителя (СМ) и передающей антенне (A1).

Сигнал, отраженный от объекта (рис. 2, штриховые линии), принимается приемной антенной (А2) и поступает на сигнальный вход смесителя, где перемножается с опорной составляющей. Фильтр нижних частот (ФНЧ) выделяет частотные компоненты биений (рис. 2,  $f_{\delta 1}$  и  $f_{\delta 2}$ ), которые пропорциональны глубине расположения подповерхностного объекта  $r_m$ :

$$f_{\delta i} = \frac{2\Delta f (r_z + r_m \sqrt{\epsilon})}{cT_p},$$

где  $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$  – диапазон перестройки частот зондирующего сигнала;  $r_z$  – высота расположения антенного блока над зондируемой поверхностью;  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, укрывающей объект;  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме;  $T_p$  – время развертки по частоте ( $T_p = T_m$  для несимметричного пилообразного закона модуляции).

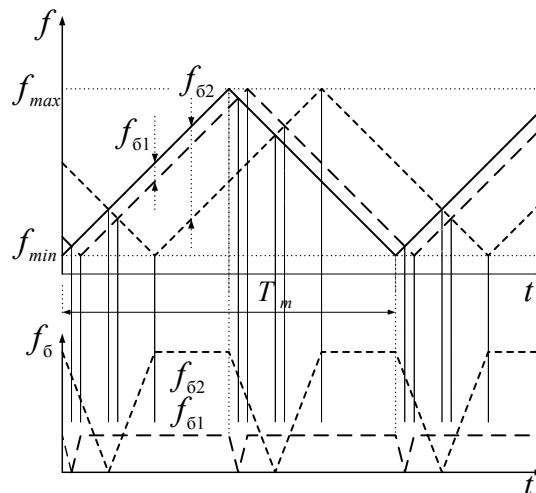


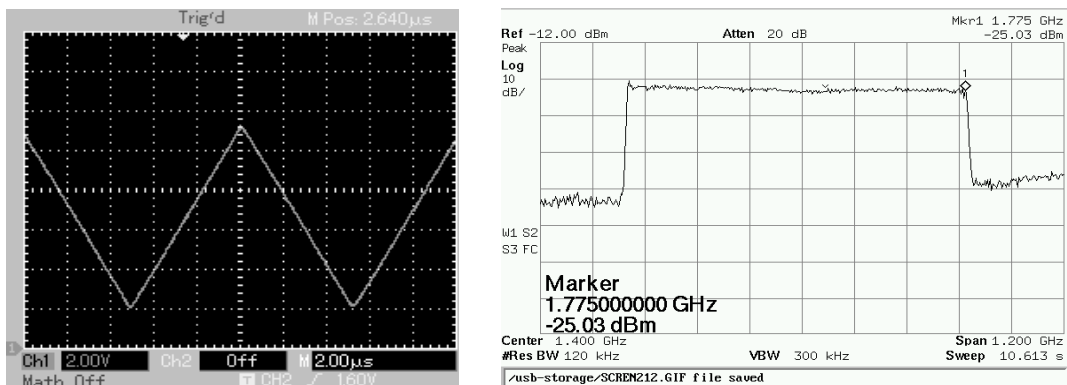
Рис. 2. Сигнал, отраженный от объекта; частотные компоненты биений  $f_{\delta 1}$ ,  $f_{\delta 2}$

Тракт цифровой обработки сигнала (ТЦОС) выполняет расчет глубинного портрета объекта, который визуализируется устройством отображения (УО): на индикаторе образуется двумерная картина «глубина–координата», где цветом отображается уровень сигнала в каждом элементе разрешения.

Специфика функционирования передающего модуля РОНД с широкополосным линейно-частотно-модулированным излучением связана с формированием сверхширокополосного СВЧ-сигнала. Пропорциональность частотных сдвигов  $f_{\delta i}$  в частотном методе измерения дальности обеспечивается линейностью модуляции  $U_{\text{мод}}$  зондирующего сигнала, сформированного передающим модулем, состоящим из МД, ГУН, УМ и ДМ.

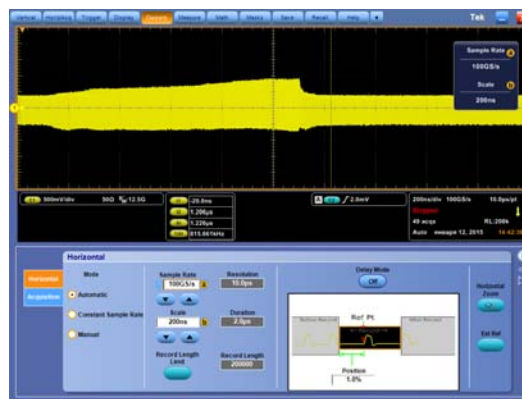
Задача разработки технического решения передающего модуля РОНД может быть решена в базе современной интегральной СВЧ-электроники [6].

На рис. 3 приведены экспериментальные характеристики модулирующего и зондирующего сигналов, формируемых РОНД.



а)

б)



в)

Рис. 3. Экспериментальные характеристики передающего модуля РОНД:  
 а – осциллограмма модулирующего напряжения ( $U_{\text{мод}} = 2\text{--}11,5\text{ В}$ );  
 б – спектрограмма формируемого ЛЧМ сигнала; в – осциллограмма зондирующего сигнала

В целом передающий модуль РОНД позволяет формировать сигналы с базой 3000–9000 в диапазоне 840–1700 МГц с выходной мощностью 18,6–21 дБм, что обеспечивает решение задач оперативного обнаружения приповерхностных и мало-заглубленных объектов.

#### Литература

1. Daniels, D. J. Ground Penetrating Radar / D. J. Daniels. – London : The Institution of Electrical Engineers, 2004. – 761 p.
2. Комаров, И. В. Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний / И. В. Комаров, С. М. Смольский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2010. – 391 с.
3. Проблематика построения радиолокатора подповерхностного зондирования / С. А. Савенко [и др.] // Наука и воен. безопасность. – 2013. – № 3. – С. 20–27.
4. Лопатченко, А. С. ЛЧМ-радиолокатор подповерхностного зондирования с повышенной разрешающей способностью / А. С. Лопатченко, И. Ю. Малевич, С. А. Савенко // Докл. БГУИР. – 2015. – № 3 (89). – С. 43–48.
5. Малевич И. Ю. Портативный ЛЧМ-радар подповерхностного зондирования / И. Ю. Малевич, А. С. Лопатченко // Докл. БГУИР. – 2019. – № 1 (119). – С. 75–82.
6. Белоус, А. И. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи / А. И. Белоус, М. К. Мерданов, С. В. Шведов // Техн. энцикл. : 2 кн. – М. : Техносфера, 2016. – Кн. 2. – 728 с.