



Ural Radio Engineering Journal

2023, Vol. 7, No. 1

Scientific and Technical Journal

Established in **2017**

Published **quarterly**

The articles are published in Russian and English

Issued in Russia

Founded by Ural Federal University
named after the first President of Russia B. N. Yeltsin
19, Mira st., Ekaterinburg, 620002, Russia



Ural Radio Engineering Journal

2023, Т. 7, № 1

Научно-технический журнал

Журнал основан в 2017 г.
Выходит четыре раза в год

Статьи публикуются на русском и английском языках

Издается в России

Учредитель — Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ural Radio Engineering Journal

2023, Vol. 7, No. 1

Editor in Chief

Sergey T. Knyazev, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Deputy Editor in Chief

Kirill M. Zeyde, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Editorial Council

Igor I. Abramov, Belarusian State University of Informatics
and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Yuri P. Akulinichev, Tomsk State University of Control Systems and
Technology, Tomsk, Russia

Boris A. Belyaev, Kirensky Institute of Physics SB RAS, Krasnoyarsk,
Russia

Stanislav N. Darovskikh, South Ural State University, Chelyabinsk,
Russia

Leonid G. Dorosinskiy, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Yuriy B. Gimpilevich, Independent scientist

Vyacheslav E. Ivanov, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Victor G. Kobernichenko, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Viktor V. Kostrov, Murom Institute of Vladimir State University, Murom,
Russia

Vladislav Ya. Noskov, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Eugeniy Ochinnikov, Academy of Jakub from Paradyż, Gorzów Wielkopolski,
Poland

Sergey N. Shabunin, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Vladimir A. Tsimbal, Military Academy of Strategic Rocket Troops after
Peter the Great, Serpukhov, Russia

Nikolaj I. Vojtovich, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Managing Editor

Nataliya V. Papulovskaya, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Ural Radio Engineering Journal

2023, Т. 7, № 1

Главный редактор

Князев Сергей Тихонович, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия

Заместитель главного редактора

Зейде Кирилл Михайлович, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия

Редакционный совет

Абрамов Игорь Иванович, Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Акулиничев Юрий Павлович, Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

Беляев Борис Афанасьевич, Институт физики им. Л. В. Киренского
СО РАН, Красноярск, Россия

Войтович Николай Иванович, Южно-Уральский государственный
университет, Челябинск, Россия

Даровских Станислав Никифорович, Южно-Уральский
государственный университет, Челябинск, Россия

Доросинский Леонид Григорьевич, Уральский федеральный
университет, Екатеринбург, Россия

Иванов Вячеслав Элизбарович, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия

Исембергенов Налик Турегалиевич, Казахский национальный
технический университет им. К. И. Сатбаева, Алматы, Республика
Казахстан

Коберниченко Виктор Григорьевич, Уральский федеральный
университет, Екатеринбург, Россия

Костров Виктор Васильевич, Владимирский государственный
университет имени Александра Григорьевича и Николая
Григорьевича Столетовых, Муромский институт, Муром, Россия

Носков Владислав Яковлевич, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия

Очин Евгений, Академия им. Якуба Парадижа, Гожов
Великопольский, Польша

Цимбал Владимир Анатольевич, Военная Академия ракетных войск
стратегического назначения имени Петра Великого, Серпухов, Россия

Шабунин Сергей Николаевич, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия

Управляющий редактор

Папуловская Наталья Владимировна, Уральский федеральный
университет, Екатеринбург, Россия

Ural Radio Engineering Journal

2023, Vol. 7, No. 1

CONTENTS

Zeyde K.M. Semi-analytical and Full Wave Solution
for the FMCW-signal Path of a Radar for the Metal Rod
in a Concrete Medium Detection.....7

Korenev A.V. Special Considerations of the Development
of the Contact System of the Microwave Switch with
the Frequency Range up to 18 GHz.....23

Nevezhin V.N., Busygina A.V., Komnatnov M.E.
Analysis of Electrical Parameters of Liquids
in a Coaxial Cell at Varying Temperatures.....37

Manokhin A.E. Identification of Digital Signals
with Integrated Bispectral Conversion.....56

Neyolov V.V., Samorodov A.A., Shaldaev S.E.
Bispectral Images of Radar Wideband Objects Characters
Interpretation.....72

Fridman L.B. Effectiveness of the Method of Adaptive
Compensation of Active Interference in Conditions
of Multipath Propagation.....87

Ural Radio Engineering Journal**2023, Т. 7, № 1****СОДЕРЖАНИЕ**

<i>Зейде К.М.</i> Полуаналитическое и полное волновое описание канала распространения ЛЧМ-сигнала в системе обнаружения металлической конструкции в бетонной среде.....	7
<i>Коренев А.В.</i> Особенности разработки контактной системы СВЧ-переключателя диапазона частот до 18 ГГц.....	23
<i>Невежин В.Н., Бусыгина А.В., Комнатнов М.Е.</i> Анализ электрических параметров жидкостей в коаксиальной камере при изменении температуры.....	37
<i>Манохин А.Е.</i> Идентификация цифровых последовательностей с интегральным биспектральным преобразованием.....	56
<i>Неёлов В.В., Самородов А.А., Шалдаев С.Е.</i> Интерпретация биспектральных изображений радиолокационных широкополосных сигнатур объектов.....	72
<i>Фридман Л.Б.</i> Характеристики эффективности метода адаптивной компенсации активных помех в условиях их многопутевого распространения.....	87

Оригинальная статья / Original Paper

DOI 10.15826/urej.2023.7.1.001

УДК 537.877

Полуаналитическое и полное волновое описание канала распространения ЛЧМ-сигнала в системе обнаружения металлической конструкции в бетонной среде

К. М. Зейде ✉

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 32

✉ k.m.zeyde@urfu.ru

Аннотация

В настоящей статье описывается поэтапное создание аналитической и полной волновой модели канала, которая может быть включена в работу алгоритма обнаружения металлических конструкций в бетонной среде для радиолокационного устройства. Аналитическая модель основывается на геометрической формулировке, в основе которой лежит решение обратной задачи для поиска требуемого угла преломления для точного определения координаты точечного объекта. В полной волновой модели, которая была разработана в САПР Altair Feko, возможно учитывать как реальную антенну или антенную решетку, которая применяется в устройстве, так и реальный объект отражения сигнала, которой располагается в бетонной среде. Важно отметить, что в аналитической модели учитывается эффект дисперсии электромагнитных волн, распространяющихся в среде. Этот факт оказывается особенно актуальным, при формировании радиолокационного комплекса на основе ЛЧМ-сигналов в некотором диапазоне частот. В данной работе разрабатывается алгоритм для частотного диапазона 0,8–5 ГГц, однако при необходимости границы полосы могут быть изменены как в одну, так и в другую сторону. Алгоритм разрабатывается для его использования в радиолокационных устройствах обнаружения металлических конструкций в бетонной среде. Для апостериорного учета электрофизических параметров среды в состав радиолокационного устройства может быть включен измерительный модуль по восстановлению действительных электрофизических параметров бетона.

Ключевые слова

распространение радиоволн, подповерхностная радиолокация, электродинамическое моделирование, структуроскопия, бетон, ММО.

© Зейде К. М., 2023

Для цитирования

Зейде К. М. Полуаналитическое и полное волновое описание канала распространения ЛЧМ-сигнала в системе обнаружения металлической конструкции в бетонной среде. *Ural Radio Engineering Journal*. 2023;7(1): 7–22. DOI 10.15826/urej.2023.7.1.001.

Semi-analytical and Full Wave Solution for the FMCW-signal Path of a Radar for the Metal Rod in a Concrete Medium Detection

K. M. Zeyde ✉

Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin,
32 Mira Str., Ekaterinburg, 620002, Russia

✉ k.m.zeyde@urfu.ru

Abstract

This article describes the systematic development of an analytical and full wave model of a radio channel, which may be included in the operation algorithm of detecting metal structures in a concrete medium for the radar device. The analytical model is based on the geometric formulation and solution of an inverse problem to find the required refraction angle to accurately target incidence. In the full wave model, which was developed in CAD Altair Feko, it is possible to take into account both the real antenna or antenna array, which is used in the device, and the real signal reflection object, which is located in the concrete medium. It is important to note that the analytical model takes into account the dispersion effect of electromagnetic waves propagating in the medium. This fact turns out to be especially relevant for the forming of the radar complex based on chirp signals (or FMCW) in a certain frequency range. In this paper, an algorithm is developed for the frequency range of 0.8–5 GHz, however, if necessary, the band boundaries may be changed. The algorithm is established created for its use in radar devices for detecting metal structures in a concrete medium. A measuring module of restoring the actual material parameters may be included in the complex of the radar device for a posteriori accounting of the electrophysical parameters of the concrete.

Keywords

electromagnetic propagation, subsurface radiolocation, electromagnetic modeling, structuroscopy, concrete, MIMO.

For citation

Zeyde K. M. Semi-analytical and Full Wave Solution for the FMCW-signal Path of a Radar for the Metal Rod in a Concrete Medium Detection. *Ural*