

УДК 621.396.96
DOI 10.34822/1999-7604-2020-3-62-69

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДЛИНЫ СВАЙ

Е. Л. Шошин

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия
E-mail: shoshin6@mail.ru

Описана конструкция радиолокационного измерителя длины свай, даны характеристики излучателей Вивальди, формирователя наносекундных импульсов и источника питания. Приведены результаты экспериментального измерения длины свай и реконструкции металлических включений.

Ключевые слова: радиолокационный измеритель, поляризационная модуляция, длина свай, металлические включения, формирователь импульсов, излучатель Вивальди, источник питания.

RADAR PILE LENGTH METER

E. L. Shoshin

Surgut State University, Surgut, Russia
E-mail: shoshin6@mail.ru

The article describes the design of the radar pile length meter. The characteristics of Vivaldi antennas, nanosecond pulse generator, and power supply are revealed. The results of the experimental measurement of pile length and reconstruction of metallic inclusions are presented.

Keywords: radar meter, polarization modulation, pile length, metallic inclusions, pulse generator, Vivaldi antenna, power supply.

Введение

В настоящее время для измерения длины свай, установленных в грунт, применяются преимущественно приборы акустического воздействия, такие, например, как ИДС-1 [1–2]. Недостатком использования ИДС-1 являются помехи, формируемые при отражении и маскирующие полезный сигнал на входе приемника. Измерение длины свай возможно также радиолокаторами подповерхностного зондирования за счет свойств отражения сверхширокополосных сигналов от границы раздела сред [3–5]. Ограничивающим фактором применения подповерхностных радиолокаторов, как и в случае с приборами акустического воздействия, являются множественные помехи, наиболее сильные из которых образуются благодаря рассеянию сигналов металлическими стержнями арматуры, обладающими высокой электропроводностью. На формируемом при этом георадиолокационном профиле полезный сигнал, связанный с отражением от границы «свая – грунт», демонстрирует радиолокационный контраст, недостаточный для уверенного обнаружения и проведения измерения. Для измерения длины свай предложен метод подповерхностного сверхширокополосного радиолокационного зондирования поляризационно-модулированными сигналами [6], способный с помощью корреляционной обработки выделять отражения от поляризационно-изотропных объектов (границы «свая – грунт») и поляризационно-анизотропных объектов (рассеивающих стержней арматуры). При этом формирование и обработка сверхширокополосных сигналов осуществляются в линейном поляризационном базисе, задаваемом с помощью излучателей антенной системы.

Цель работы – схемотехническое проектирование функциональных узлов радиолокатора подповерхностного зондирования, работающего в режиме формирования и обработки поляризационно-модулированных сигналов, а также экспериментальная проверка работоспособности устройства.

Устройство радиолокационного измерения длины свай

Радиолокационный измеритель длины свай реализует режим последовательного облучения установленной в грунт сваи электромагнитными волнами с ортогональными поляризациями, что позволяет выполнить векторную обработку рассеянных сигналов [6]. Конструктивно устройство радиолокационного измерения состоит из следующих блоков: антенная система из четырех излучателей, двухканальный блок управления, четыре оптических кабеля (ОК), регистрирующее устройство (ноутбук), блок питания с зарядным устройством (рис. 1).

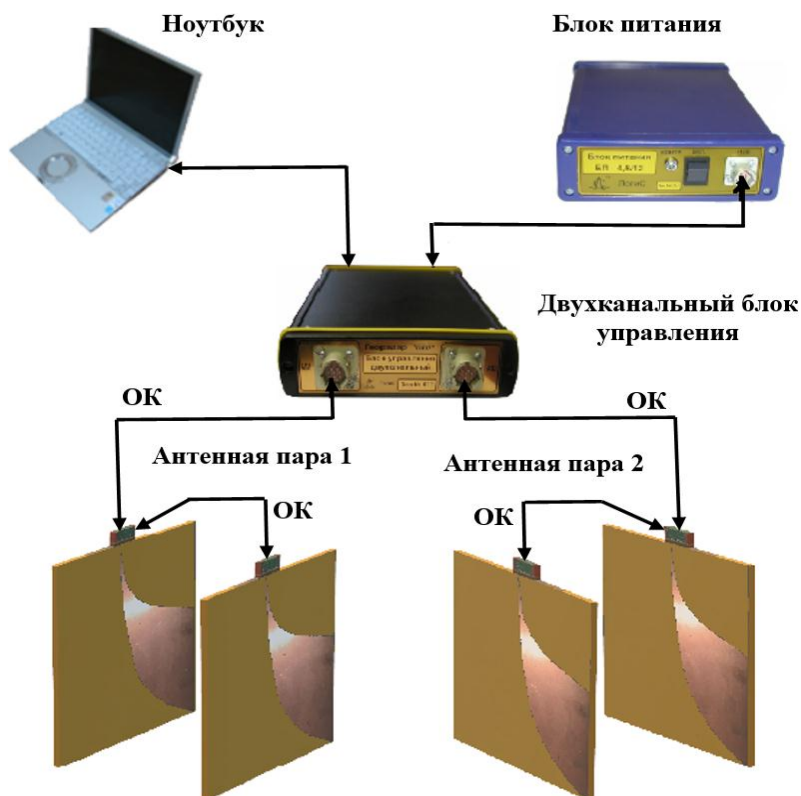


Рис. 1. Функциональная схема устройства радиолокационного измерения длины свай

Примечание: составлено автором.

Блок управления (производства ООО «НПО ЛогиС», г. Раменское) принимает команды с ноутбука по интерфейсу Ethernet, рассчитывает текущие параметры для антенной системы, передает их и выдает команды управления режимами работы по интерфейсам RS-485 в антенные пары 1 и 2, принимает с них данные, осуществляет вторичную обработку и передает обработанные данные в ноутбук по интерфейсу Ethernet. Особенностью управления антенными парами 1 и 2 является их раздельное попеременное зондирование, формирование двух георадиолокационных профилей и обмен данными с регистрирующим устройством. В состав каждой антенной пары входит стробоскопический преобразователь, подключенный к приемной антенне, выполняющий масштабно-временное преобразование и переводящий принятые сверхкороткие импульсы в цифровую форму, необходимую для дальнейшей обработки. Электромагнитная развязка сигналов управления и передаваемых данных достигается с помощью оптических кабелей, соединяющих блок управления с антенными парами и излучателями антенных пар. Блок питания состоит из аккумуляторной батареи и устройства контроля. Для питания ноутбука и блока управления служит аккумуляторная батарея напряжением 12 В и емкостью 9 А/ч.

Программа измерения длины свай устанавливается на регистрирующее устройство и включает в себя:

- формирование измерительного сигнала;

- компенсацию затухания по времени прихода принятых сигналов;
- пространственную корреляционную обработку с помощью масок границы «свая – грунт» и рассеивающих стержней арматуры;
- формирование бинарных изображений поляризационно-изотропных и поляризационно-анизотропных объектов;
- измерение длины сваи и реконструкцию металлических включений.

Антенная система

На рисунке 2а представлена конструкция излучателя Вивальди антиподального типа, содержащая щель с экспоненциальным профилем:

$$W(y) = W_s e^{ay} \quad (1)$$

$$a = (1/L_s) \ln(W_{SOUT}/W_{SIN}), \quad (2)$$

где W_{SIN} – ширина линии в области возбуждения;

W_{SOUT} – ширина линии на выходе антенны;

L_s – длина нерегулярной щелевой линии.

Применение излучателя Вивальди при подповерхностном зондировании материальных сред и объектов рассмотрено в [7]. Результаты анализа показали, что излучатель Вивальди демонстрирует значительный коэффициент усиления и хорошие дисперсионные свойства в различных средах (песок, суглинок, бетон), что позволяет применять его в составе радиолокационного измерителя длины свай.

В таблице приведены параметры топологии опытного образца излучателя, а на рисунке 3 представлена дисперсионная характеристика антенны при зондировании бетонной сваи, свидетельствующая о достижении полосы рабочих частот 320–760 МГц, в пределах которой КСВ < 2.

Таблица

Параметры топологии излучателя Вивальди [7]

Толщина подложки, мм	ϵ_r	L , мм	L_s , мм	W , мм	W_s , мм
3	5	400	230	430	5

Примечание: составлено автором.

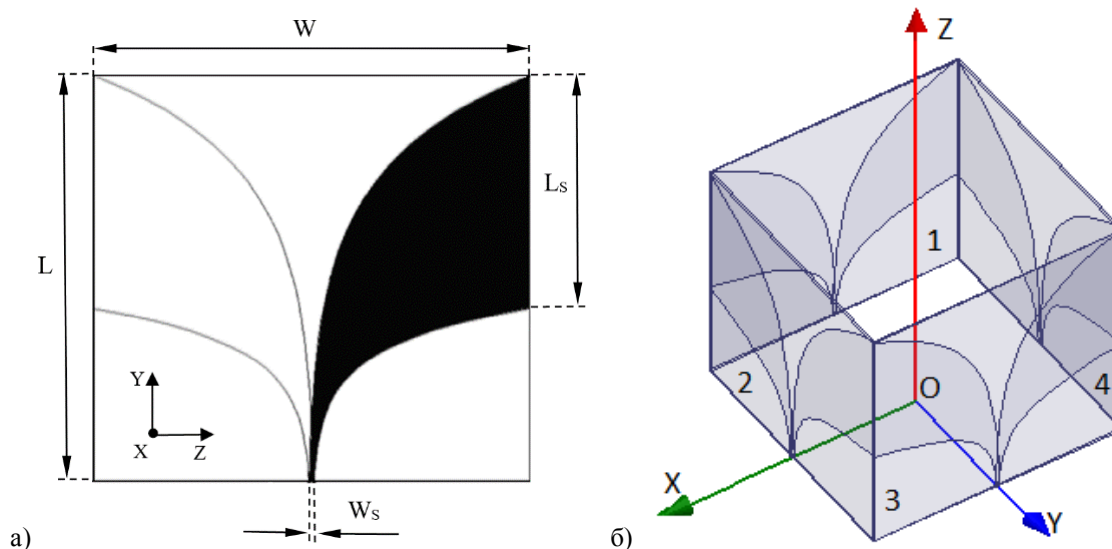


Рис. 2. Антенная система: а – излучатель Вивальди; б – система из излучателей

Примечание: составлено автором.

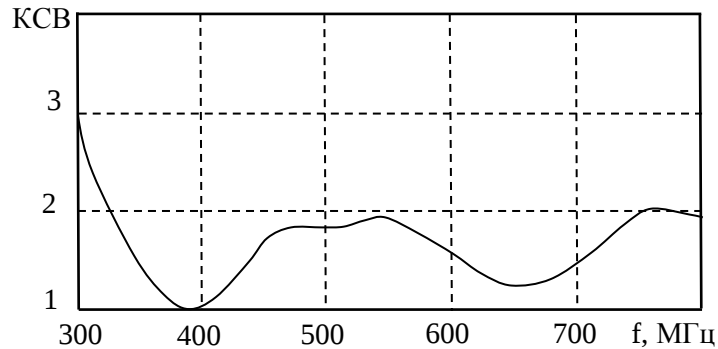


Рис. 3. Дисперсионная характеристика излучателя Вивальди

Примечание: составлено автором.

Характеристики излучателя Вивальди:

- полоса рабочих частот – 320–760 МГц;
- ширина главного лепестка диаграммы направленности в плоскости YOZ – 60°;
- коэффициент направленного действия в сухом бетоне – 7,8 дБ;
- коэффициент усиления – 7,5 дБ;
- уровень боковых лепестков в сухом бетоне – 12 дБ;
- габариты, мм – 600 × 600 × 3.

На рисунке 2б представлена конструкция антенной системы, образованная попарным соединением излучателей Вивальди. Первая пара излучателей 1, 3 выполняет излучение и прием короткоимпульсных сигналов линейной горизонтальной поляризации, вторая пара излучателей 2, 4 – излучение и прием сигналов линейной вертикальной поляризации (в плоскости XOY, рис. 2б). Модуляционный цикл формирования зондирующих сигналов состоит из облучения сваи первой и второй парами излучателей последовательно в первом и втором полупериодах.

Формирование наносекундных импульсов

К формирователю излучаемых сигналов предъявляются требования достижения необходимых амплитуды и длительности импульсов, позволяющих осуществить зондирование железобетонной сваи и провести измерение ее длины. Совмещение формирователя излучаемых сигналов и антенны в единую конструкцию уменьшает энергетические потери и улучшает массогабаритные показатели всего устройства. На рисунке 4 приведена электрическая принципиальная схема формирователя наносекундных импульсов.

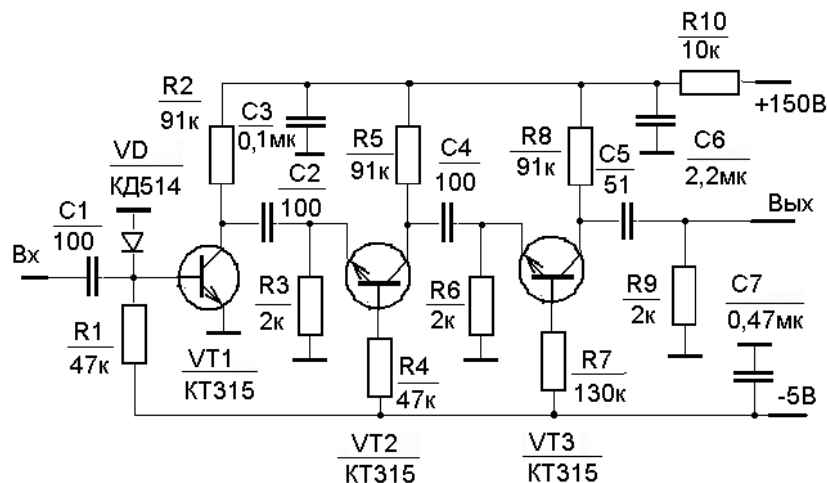


Рис. 4. Формирователь наносекундных импульсов

Примечание: составлено автором.

Топология печатной платы совмещенной конструкции излучателя наносекундных импульсов размером 80 мм × 30 мм приведена на рисунке 6.



Рис. 6. Топология печатной платы
Примечание: составлено автором.

Экспериментальные результаты

Подготовка к измерению длины свай включала в себя установку антенной системы с доступом излучателей Вивальди к каждой из четырех граней оголовка сваи. Запуск радиолокационного зондирования и управление режимами выполнялись с помощью регистрирующего устройства и блока управления. Измерение длины свай и реконструкция металлических включений выполнялись в программе [6]. На рисунке 7 приведены временные диаграммы рассеянных сигналов при зондировании железобетонной сваи в первом и втором модуляционных циклах. Сравнение 1-й и 2-й временных диаграмм свидетельствует о наличии значительного числа объектов (стержней арматуры), способность которых отражать сигнал зависит от его поляризации.

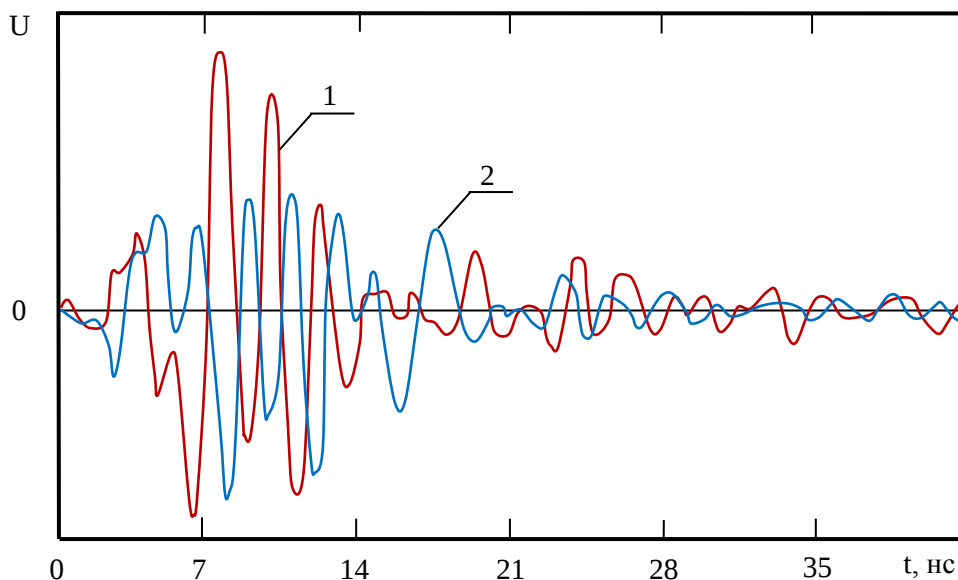


Рис. 7. Временные диаграммы рассеянных сигналов:
1 – временная диаграмма сигнала, принятого антенной парой 1;
2 – временная диаграмма сигнала, принятого антенной парой 2
Примечание: составлено автором.

На рисунке 8 приведены результаты измерения длины свай и реконструкции металлических включений. Всего выделено 40 металлических стержней различной стратификации со средним пространственным разномом 15 см для двух соседних стержней. Длина измеренной сваи составила 7,42 м.

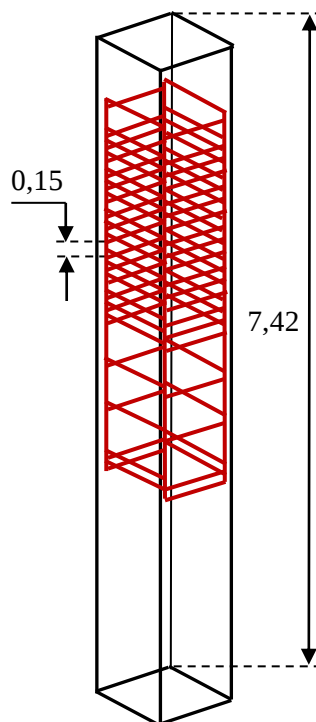


Рис. 8. Результат измерения длины свай и реконструкции металлических включений

Примечание: составлено автором.

Заключение

Каскадирование лавинных транзисторов позволяет увеличить амплитуду наносекундных импульсов. Совмещение формирователя наносекундных импульсов с источником питания обеспечивает большую надежность и улучшает массогабаритные показатели устройства. Формирователь импульсов амплитудой 390 В и длительностью 2 нс и излучатели Вивальди с коэффициентом усиления 7,5 дБ обладают энергетикой, достаточной для зондирования железобетонных свай, установленных в грунт. Режим поляризационной модуляции зондирующих сигналов радиолокационного измерителя позволяет определить длину железобетонной свай и выполнить реконструкцию металлических включений.

Литература

1. Измеритель длины свай ИДС-1. URL: <http://www.logsys.ru/index.php?page=10> (дата обращения: 24.09.2020).
2. Капустин В. В. Применение волновых методов при измерении длины свай // Технологии сейсморазведки. 2008. № 2. С. 113–117.
3. Вопросы подповерхностной радиолокации : моногр. / под ред. А. Ю. Гринева. М. : Радиотехника, 2005. 416 с.
4. Александров П. Н. Теоретические основы георадарного метода. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2017. 120 с.
5. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications / Ed. H. M. Jol. Kidlington : Elsevier Science, 2008. 544 p.
6. Шошин Е. Л. Измерение длины установленных железобетонных свай и реконструкция металлических включений методом подповерхностного радиолокационного зондирования поляризационно-модулированными сигналами // Вестник кибернетики. 2019. № 2. С. 41–46.
7. Шошин Е. Л. Применение излучателей Вивальди при подповерхностном радиолокационном зондировании материальных сред и объектов // Радиолокация, навигация, связь :

сб. тр. XXV Междунар. науч.-технич. конф. (Воронеж, 16–18 апреля 2019 г.) : в 6 т. Т. 5. Воронеж : Издат. дом ВГУ, 2019. С. 31–38.

8. Дьяконов В. П. Лавинные транзисторы и их применение в импульсных устройствах / под ред. С. Я. Шаца. М. : Сов. радио, 1973. 207 с.