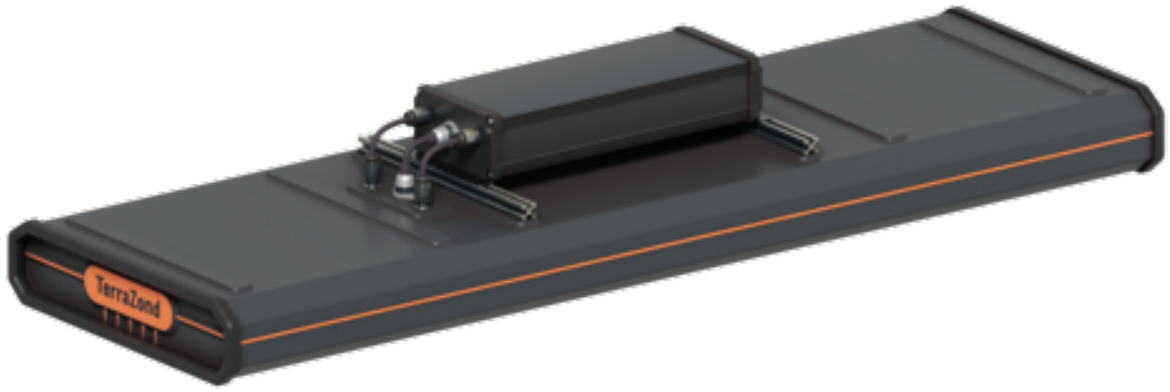
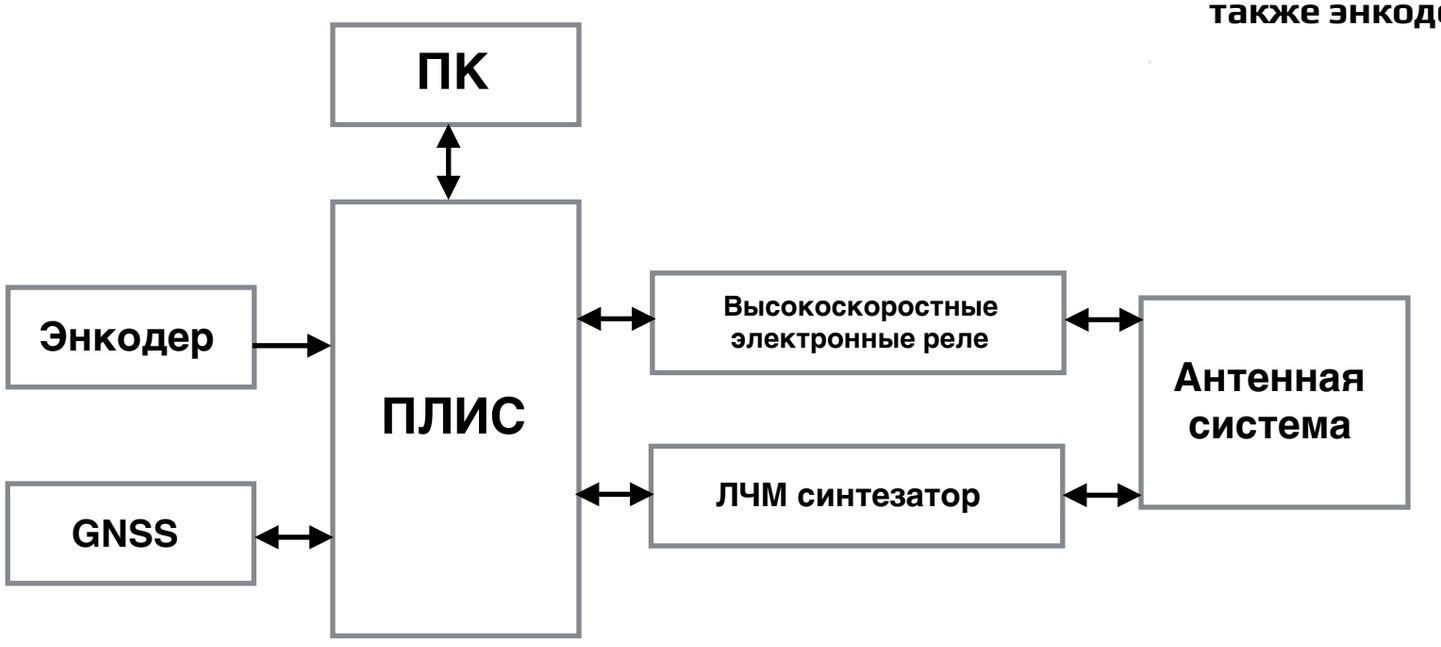
Состав, структурные схемы, общий принцип получения данных

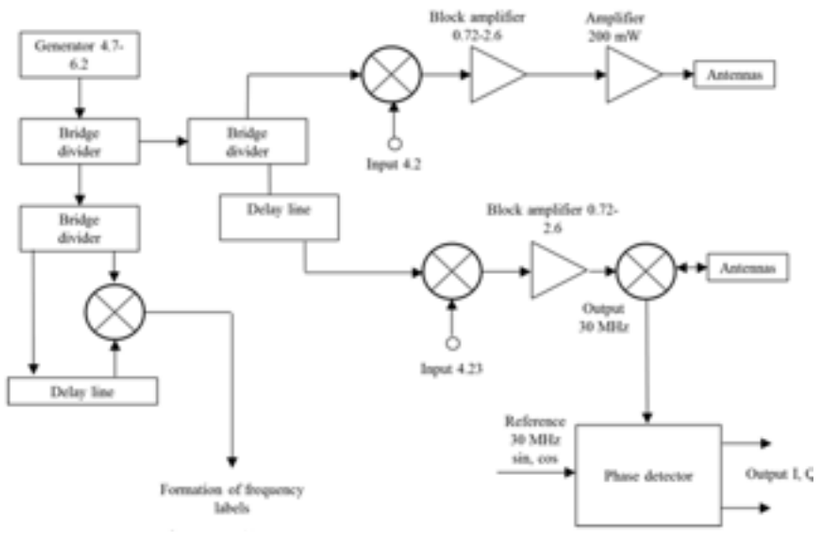


В состав георадара входят СШП антенный блок приемных и передающих антенн, работающих в диапазоне частот от 0,15 до 0,9 ГГц и от 0,7 до 2,6 ГГц; чувствительный высокоскоростной ЛЧМ генератор, обеспечивающий работу георадара в частотных диапазонах от 0,1 до 1,2 ГГц и от 0,5 до 3 ГГц на скорости движения до 130 км/ч (при плотности записи георадарных трасс – каждые 10 см); высокоскоростное электронное реле; программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) для приема, обработки и хранения геоданных, а также энкодер и GNSS модуль.



Структурная схема многоракурсного георадара (георадиотомографа)

В процессе сбора данных, три высокоскоростных аналого-цифровых преобразователя (АЦП) с частотой дискретизации 107 выборок в секунду осуществляют аналого-цифровое преобразование входного сигнала с дискретизацией 14 бит. Полученные входные данные поступают в программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС), где производится первичная обработка данных в режиме реального времени, заключающаяся в быстром преобразовании Фурье (FFT) над каждыми 1024 выборками по каждому каналу. Полученные на выходе ПЛИС данные передаются по PCIe интерфейсу в процессор, который сопоставляет принятым данным GPS/ГЛОНАСС метку. Сформированный пакет трасс (радарограмма) передается на компьютер посредством высокоскоротсного протокола Gigabit Ethernet.



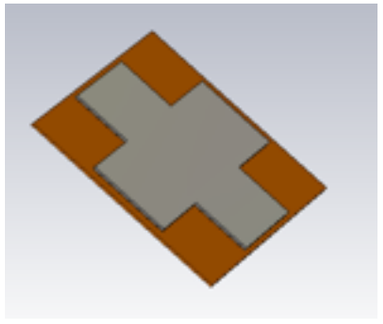
Блок схема генератора линейного частотно модулированного сигнала

ЛЧМ генератор содержит:

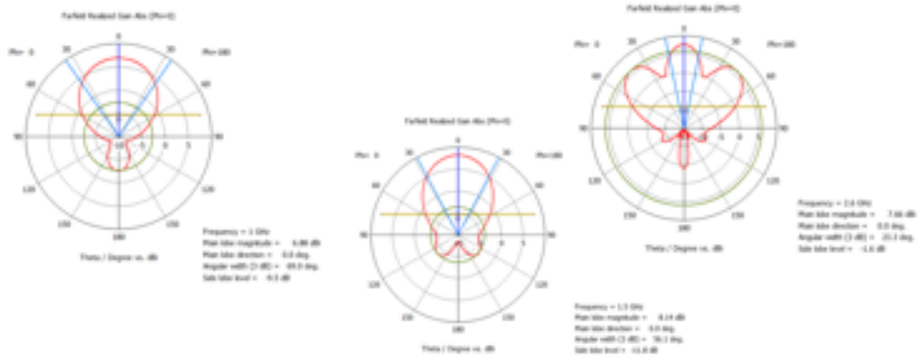
1. **Задающий генератор (ГУН).**
2. **Опорные генераторы.**
3. **Блок-усилители гетеродинных частот.**
4. **Схема фазовой привязки опорных генераторов.**
5. **Смесители сдвига.**
6. **Схема формирования частотных меток с диэлектрическим резонатором.**
7. **Блок-усилители сигналов для передачи и приема.**
8. **Усилитель мощности.**
9. **Приемный смеситель диапазона.**
10. **Квадратурный фазовый детектор.**

Приемо-передающие антенные системы

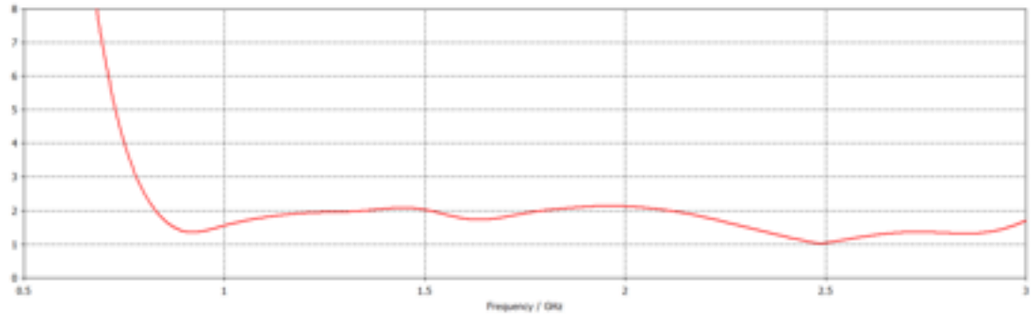
В качестве приемо-передающего элемента использовалась печатная СШП антенна «PlastRam», разработанная на кафедре радиофизики ТГУ. Эквивалентный внешний вид антенного элемента представлен ниже



Эквивалентный внешний вид антенного элемента



Диаграммы направленности для антенного элемента на диапазон 0.7-2.6 ГГц для трех частот

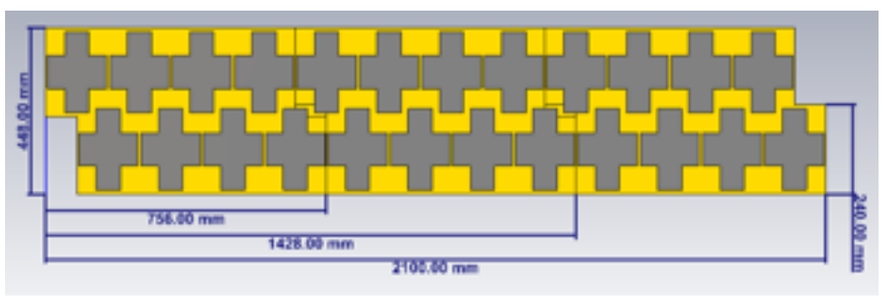


Харкатеристика КСВН антенного элемента

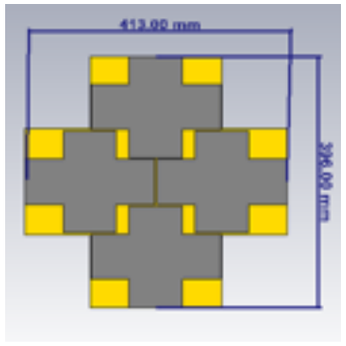
Данная конструкция формирует общую нагрузку линии, значение которой составляет 50 Ом. Отличительными особенностями используемой СШП антенны, являются её малые размеры и широкая полоса пропускания. Коэффициент стоячей волны (КСВН) такой антенны в составе решетки не превышает 2 в полосе от 0,72 до 2,6 ГГц (Fig. 4), что означает хороший коэффициент прохождения в широкой полосе частот. Моделирование антенных элементов согласованных на заданную среду осуществляется в программном симуляторе CST многофакторным подбором параметров.

Варианты подключаемых к георадиотомографу антенных систем, согласованных на грунт/воздух:

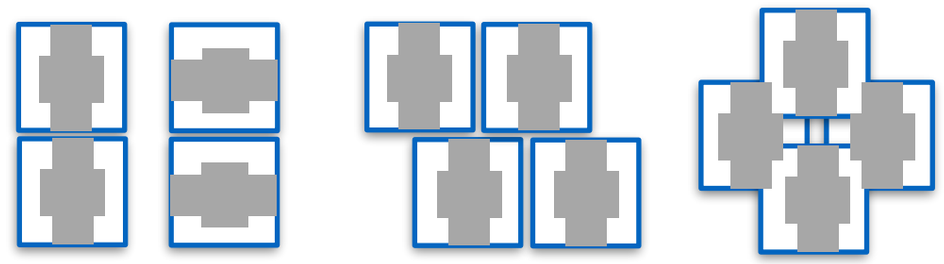
- **антенная пара (количество антенных элементов - 2)**
- **решетка с синтезированной апертурой (количество элементов - 8, 16, 24, 32)**
- **фазированная антенная решетка (количество элементов 4 или 8)**
- **активная фазированная антенная решетка (количество элементов от 8 до 32).**



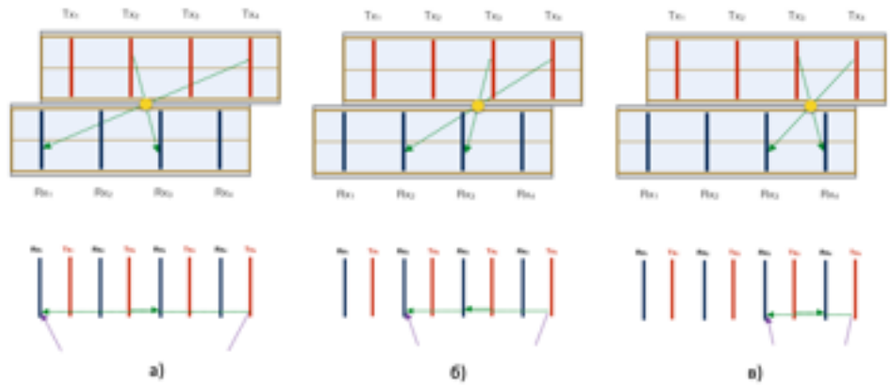
Пример решетки с синтезированной апертурой на 24 элемента



Пример реализации фазированной антенной решетки на диапазон 0.6-2.3ГГц



Вриант расположения антенных элементов в многоканальной решетке



Варианты коммутаций пар антенн в решетке с синтезированием апертуры по методу общей средней точки (ОСТ):
а) Tx_2Rx_3 - Tx_4Rx_1, б) Tx_3Rx_3 - Tx_4Rx_2, в) Tx_3Rx_4 - Tx_4Rx_3

Основные преимущества перед конкурентными решениями

Георадиотомограф имеет модульную каскадно-расширяемую структуру, которая за один проезд позволяет проводить исследования подземного пространства на ширину от 525 мм до 2325 мм (для модели ГРТ-31), предоставляя оператору трехмерный массив данных, включающий от 7 до 31 радарограмм каждые 7,5 см по ширине сканирования. Расстояние между антеннами можно выбрать под конкретные задачи, определяя разрешающую способность и ширину захвата при сканировании. Особенность антенного модуля георадиотомографа исключает наличие мертвых зон, в отличии от многоканальных систем, построенных на базе нескольких моноимпульсных георадаров.

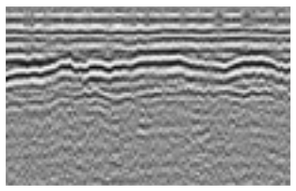
У георадиотомографа используется одна широкополосная антенна под весь диапазон частот (например у ГРТ-31 диапазон частот: 500 - 3000МГц), что обеспечивает большую эффективность и производительность работ, чем у моноимпульсного георадара, где характеристики антенны определяются центральной частотой излученного сигнала. Таким образом для работы в более широком частотном диапазоне моноимпульсным георадарам требуется несколько вариантов антенн, что существенно увеличивает габариты общей системы и значительно увеличивает стоимость многоканального решения, ввиду необходимости отдельных блоков СШП генератора/регистратора для каждой пары антенн.

Георадиотомограф использует высокоскоростной генератор линейно-частотно модулированного сигнала, обеспечивающий возможность проведения измерений на скорости до 160км/ч с плотностью записи до нескольких мм вдоль движения.

Благодаря возможности многоканальной коммутации антенных пар - у георадиотомографа имеется функция записи данных по методу общей средней точки (ОСТ) для математического расчета электрофизических свойств верхнего контрастного слоя покрытия.

Стандартный моноимпульсный георадар

Одна радарограмма за одно сканирование

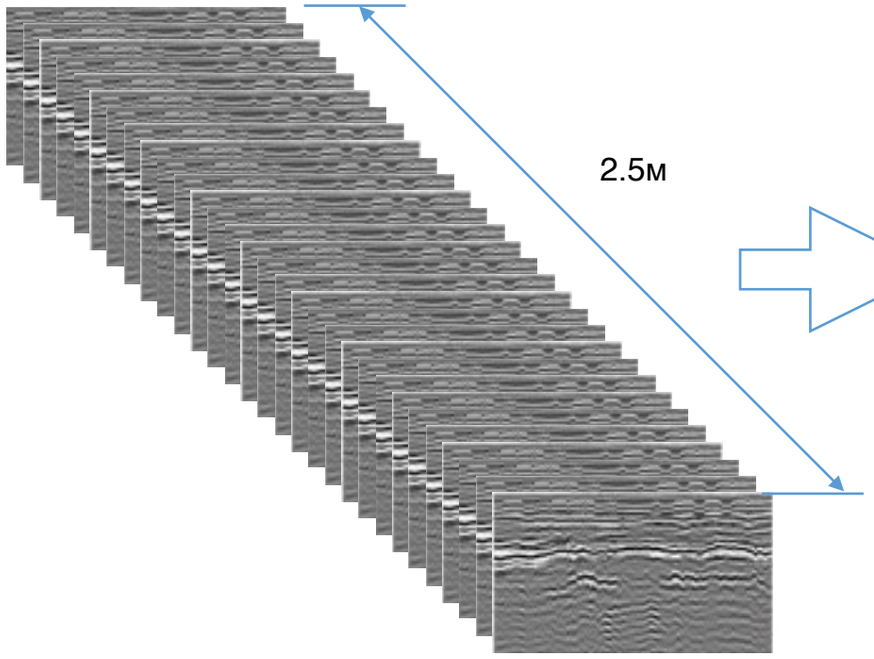


Возможность восстановления томографического радиоизображения, схожего с георадиотомографом, у стандартного моноимпульсного георадара отсутствует.

Дополнительные сканирования стандартным георадаром для накопления нескольких параллельных разрезов, позволяют построить псевдо-трехмерные изображения, резко уступающие по надежности и информативности радиоиозбражению георадиотомографа.

Аппаратура многоракурсной георадиолокации (георадиотомографии) ГРТ-34

Тридцать параллельных радарограмм за одно сканирование



Возможность построения оптически читаемого радиоизображения (трехмерный набор данных по ширине сканирования)

