

УДК 621.396.62

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ КАЛИБРАТОР ДЛЯ ИРКУТСКОГО РАДАРА НР

¹А.В. Заворин, ¹В.Е. Заруднев, ²В.Н. Кулагин, ¹Д.С. Кушнарев, ³В.В. Лепетаев

MULTICHANNEL CALIBRATOR FOR IRKUTSK IS RADAR

¹A.V. Zavorin, ¹V.E. Zarudnev, ²V.N. Kulagin, ¹D.S. Kushnarev, ³V.V. Lepetaev

Освещены проблемы контроля метрологических характеристик многоканального измерительного комплекса Иркутского радара некогерентного рассеяния. Рассмотрены принципы построения и особенности технической реализации системы на основе многоканального программно управляемого калибратора. Многоканальный калибратор обеспечивает синхронную подачу на вход приемных трактов тестовых сигналов, отслеживая вариации параметров трактов при частотном формировании диаграммы направленности приемной антенны. Для оценки степени искажения спектров НР при работе с ЛЧМ (линейно-частотно-модулированными) сигналами калибратор снабжен буферными регистрами, хранящими модельные последовательности кодов Баркера.

Устройство интегрировано в систему управления радара на программном и аппаратном уровнях, что обеспечивает гибкость контроля при постановке геофизических исследований.

Problems of control of metrological characteristics of the Irkutsk Incoherent Scatter Radar multichannel measuring complex are discussed. Principles of construction and peculiarities of technical implementation of systems using a multichannel program-controlled calibrator are considered. The multi-calibrator provides synchronous injection of test signals to the input of reception paths, monitoring variations of path parameters in frequency shaping of the reception diagram. To assess the degree of IR spectra distortion in LFM signals, the calibrator is equipped with buffers storing model sequences of Barker codes.

The device is integrated into the radar controlling system on software and hardware levels that provides flexibility of control in geophysical research.

Постановка задачи

Иркутский радар некогерентного рассеяния (НР) является уникальным инструментом для геофизических исследований и экспериментов. Полное использование потенциальных возможностей радара требует знания его характеристик и их эволюций в режиме частотного управления диаграммой направленности. Характеристики антенны дестабилизируются климатическими факторами: температура, атмосферные осадки, ветровая нагрузка; все это вносит вклад в оценки уровня НР-сигнала и уровня космических шумов, исключая возможность абсолютной калибровки приемного тракта.

Приемный тракт радара представляет собой многоканальное радиоприемное устройство (РПУ) с разнесенными до нескольких сотен метров от центроида каналами и блоками, что осложняет организацию и управление компонентами системы. В этих условиях необходимо реализовать систему контроля параметров отдельных каналов приемного тракта, включая амплитудно-частотные, фазовые и шумовые характеристики. Все это необходимо делать для всех каналов одновременно и с сохранением результатов контроля в реальном времени. Импульсный режим работы радара требует учета влияния искажений полезного сигнала за счет свертки с АЧХ приемного тракта. Особый интерес представляет учет влияния звеньев приемного тракта при использовании ЛЧМ зондирующих сигналов при частотном сканировании диаграммы направленности антенны.

Для синхронной работы в составе приемного комплекса калибратор должен синхронизироваться с импульсами радара и иметь привязку к опорной частоте системы. Управление калибратором должно осуществляться от центроида в рамках общего алгоритма управления радаром с индикацией параметров и режима работы калибратора.

Структура и принцип действия калибратора

Многоканальный калибратор представляет собой автономное устройство, устанавливаемое в антенной пристройке радара и соединяемое сигналами кабелями с приемопередающей антенной, выносным приемным устройством (ВУП) и центроидом, управляющим работой радара. Общий вид прибора представлен на рис. 1.

Периодограмма работы калибратора в составе радара представлена на рис. 2.

Общая периодограмма работы радара представлена на рис. 2, а и включает в себя:

- время существования импульсов излучения передатчиков;
- интервал времени приема отраженных сигналов;
- интервал времени накопления шумов и подачи тестовых сигналов.

В этом случае возможен контроль уровня излучения передатчика по «пролезанию» из антенны в выходные цепи калибратора и контроль уровня тестового сигнала на выходе калибратора (рис. 2, б). Тестовый сигнал может подаваться либо в антенну, либо в любой из приемных трактов ВУП или не подаваться во время накопления шумов. Параметры, время существования и способ подачи тестовых сигналов определяются общим сценарием работы системы и загружаются из центроида.

Загрузка параметров для каждого следующего периода развертки радара осуществляется из центроида на предыдущем такте. Одновременно в центроид возвращаются результаты контроля параметров излучения передатчика и параметров тестового сигнала, подаваемого в антенны (рис. 2, в).

Структурная схема калибратора приведена на рис. 3.



Рис. 1.



Рис. 2.

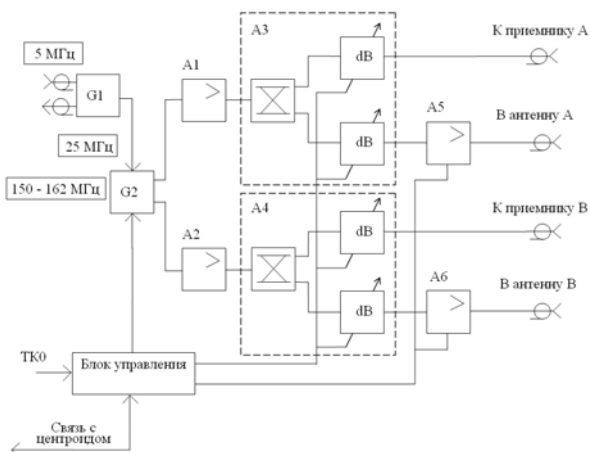


Рис. 3. Структурная схема двухканального калибратора.

G1 – блок опорной частоты синтезатора (БОЧ);
G2 – двухканальный синтезатор прямого синтеза;
A1, A2 – буферные широкополосные усилители;
A3, A4 – управляемые двухканальные двухступенчатые аттенюаторы;
A5, A6 – линейные усилители мощности сигналов калибратора.

Основой калибратора является двухканальный синтезатор прямого синтеза (DDS) AD9958 [1]. Он

обеспечивает формирование двух сигналов, управляемых по частоте, амплитуде и фазе. Наличие в данном синтезаторе аппаратной фазовой манипуляции позволяет реализовать сигнал с изменяющейся по коду Баркера фазой.

Необходимый уровень сигнала на выходах синтезатора обеспечивается с помощью линейных усилителей A1, A2. Усилители согласованы с источниками сигналов и с нагрузкой по сопротивлению (50 Ом), охвачены глубокой отрицательной обратной связью по переменному току, что обеспечивает стабильность коэффициентов передачи и минимальные фазовые искажения.

Управляемые аттенюаторы A3, A4 выполнены по двухступенчатой схеме на основе pin-диодов типа 2A517-A. Управление осуществляется током ± 80 мА от двухполярного источника. Необходимая скорость переключения обеспечивается выбором постоянных времени цепей управления током диодов. Благодаря этому аттенюаторы могут выполнять функции быстродействующих ключей, обеспечивая гибкость конфигурации калибратора в различных режимах работы.

Динамические характеристики аттенюаторов иллюстрируются на примере формирования радиоимпульса на несущей частоте 150 МГц (рис. 4, 5). Длительность фронта нарастания импульса не более 1 мкс. Длительность фронта спада импульса не более 0.5 мкс. Задержка включения не более 1 мкс.

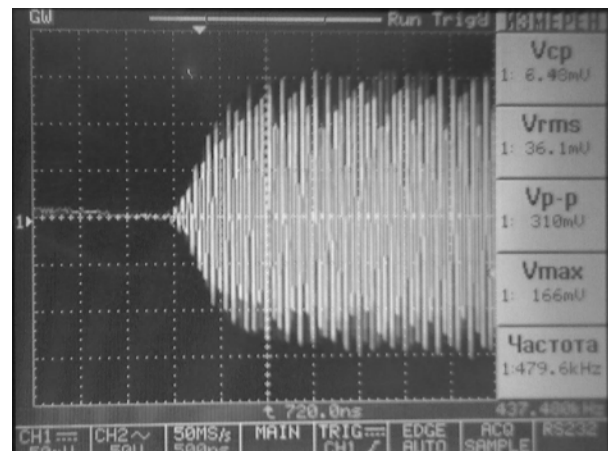


Рис. 4. Фронт нарастания радиоимпульса калибратора.

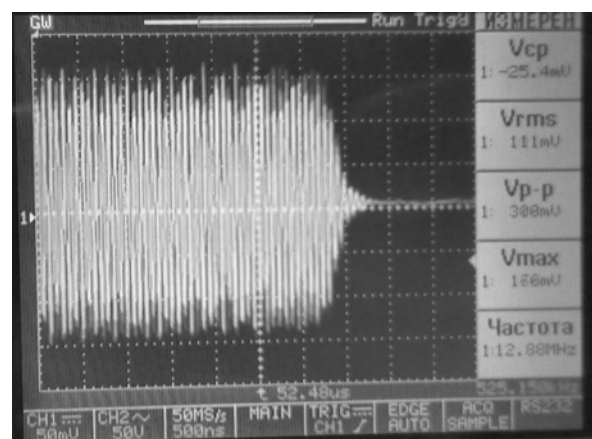


Рис. 5. Фронт спада радиоимпульса калибратора.

Оценки проводились на выходе преселектора приемника. Фильтр преселектора имел однополосную характеристику с частотой настройки 150 МГц при добротности, равной 12.

Полученные динамические характеристики аттенуаторов позволяют в сочетании с динамическими возможностями синтезатора прямого синтеза формировать широкий спектр тестовых сигналов с динамическим диапазоном не менее 140 дБ.

Линейные усилители мощности А5, А6 служат для подачи тестовых сигналов в раскрыв антенны и должны обеспечивать устойчивость к воздействию импульса излучения передатчика. Усилители выполнены на полевых транзисторах, работающих в линейном режиме и охваченных глубокой обратной связью, что обеспечивает необходимую стабильность и устойчивость. Усилители имеют линейность по выходу до 5 В при сопротивлении нагрузки 75 Ом. Усилители имеют отключаемые выходные каскады, схемы контроля тока силовых транзисторов и контроля уровня выходного сигнала. Данные свойства позволяют контролировать параметры сигналов калибратора при различных режимах работы и при изменении окружающей температуры. Постоянные времени цепи детектирования выходного уровня выбраны таким образом, что позволяют не только оценивать сигнал калибратора, но и косвенно оценивать уровень мощности излучения передатчика.

Синхронизация опорных частот

Для оптимального использования возможностей синтезатора необходимо засинхронизировать его с внешним источником в диапазоне 20–30 МГц. Оптимальным в нашем случае является значение 25 МГц, которое дает после умножения в целое число раз значение 500 МГц – верхнюю граничную частоту тактирования синтезатора. Для привязки к опорной частоте системы 5 МГц блок опорной частоты содержит петлевой синтезатор LMX2316 [2], управляемый загрузочным контроллером Atmega8. Кроме этого, в БОЧ имеется компаратор частоты, с помощью которого осуществляется корректировка внутреннего опорного генератора. Это дает возможность работать как в режиме автономного генератора, так и в режиме внешней опорной частоты. Причем наличие внешней опорной частоты распознается автоматически. Генераторное ядро выполнено по схеме емкостной трехточки и работает на частоте 50 МГц, которая после формирования делится на два и подается на вход синхронизации DDS (прямого цифрового синтеза). Управляющий контроллер отслеживает наличие захвата петли ФАПЧ-синтезатора опорного генератора и выдает сигнал ошибки на элементы индикации и в центроид системы.

Алгоритмы работы и взаимодействия с программно-аппаратным комплексом радара

Для управления синтезатором DDS выбран высокопроизводительный микроконтроллер AT91SAM7S фирмы Atmel, работающий на частоте 48 МГц, обладающий развитой периферией и каналами DMA [3]. При этом становится возможным параллельное выполнение таких процессов, как прием управляющих

параметров, оцифровка телеметрических сигналов, передача телеметрии в центроид. Все управляющие параметры, а также таблицы наборов параметров для алгоритмов калибровки хранятся в энергонезависимой памяти FRAM. Таблицы обновляются по мере необходимости по командам центроида.

Изменения параметров системы (включая калибратор) могут производиться в ручном или автоматическом режимах. Структурная схема системы компонентов управления показана на рис. 6. В ручном режиме оператор может задавать параметры: а) из программы управления Rmrq (рис. 7 и 8), работающей на компьютере, к которому через USB подключен центроид; б) с копией программы Rmrq, работающей на компьютере, подключенном к локальной сети; в) с панели управления центроида. Панель управления имеет упрощенный интерфейс и позволяет управлять ограниченным набором параметров.

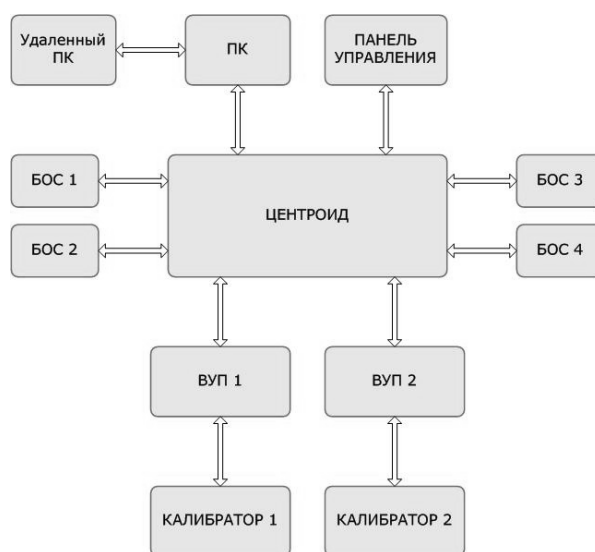


Рис. 6.

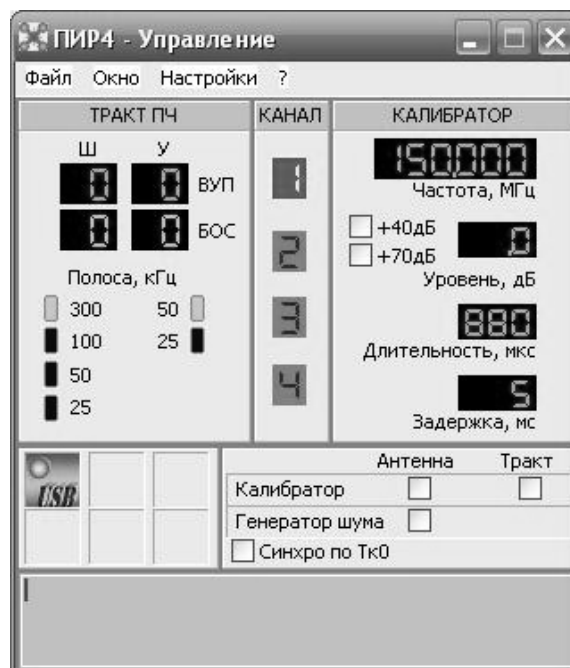


Рис. 7.

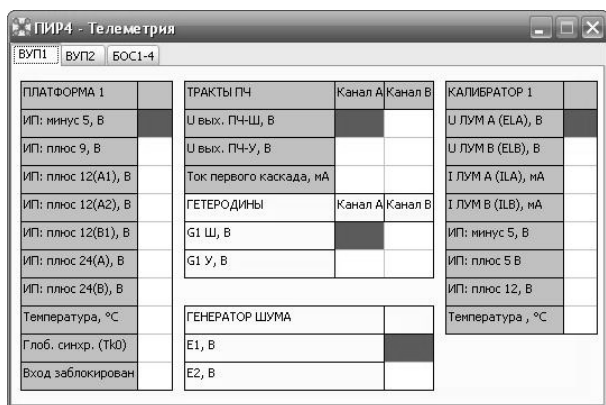


Рис. 8.

Каждый из ВУПов также имеет упрощенную панель управления, с которой можно изменять параметры калибратора при проведении отладочных работ.

В автоматическом режиме программа Rmrq является ретранслятором команд между центроидом и программным обеспечением системы управления радаром. Связь между приложениями осуществляется по протоколу TCP/IP.

Система команд для всех компонентов управления едина. Команды разделены на несколько групп. Длина пакетов фиксирована, и может быть либо шесть, либо 20 байт (рис. 9). Первый байт пакета – идентификатор команды, последний байт – контрольная сумма. Короткие пакеты несут значение одного параметра, длинные пакеты предназначены для группы параметров, либо телеметрических данных.

Центроид, построенный на базе микроконтроллера AT91SAM7S, имеет независимые каналы связи с обоими ВУПами и, соответственно, калибраторами, что позволяет одновременно управлять всеми объектами при каждом импульсе глобальной синхронизации.

Основные характеристики калибратора

Двухканальный синтезатор частот прямого синтеза:

- диапазон синтезируемых частот каждого канала – от 150 до 162 МГц;
- шаг сетки синтезируемых частот – 1.0 Гц;
- диапазон регулировки уровня выходного сигнала относительно максимума – не менее 60 дБ;
- диапазон регулировки сдвига фаз между каналами – 360 град;
- шаг установки сдвига фазы – 0.05 град;
- уровень шумовых составляющих спектра – не хуже –60 дБ;

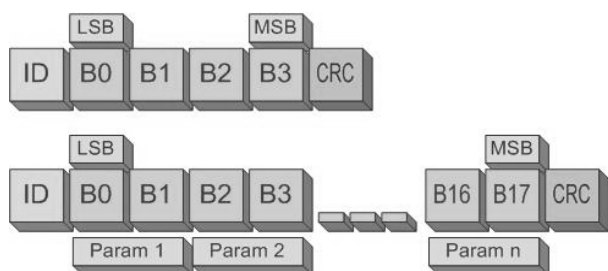


Рис. 9.

– выходное сопротивление каналов – 50 Ом.

Быстродействующие ключи для каждого канала:

- входное сопротивление – 50 Ом;
- выходное сопротивление – 50 Ом;
- рабочее затухание в открытом состоянии – не более 6 дБ;
- рабочее затухание в закрытом состоянии – не менее 70 дБ;
- время включения (выключения) – не более 2 мкс.

Согласующие усилители для каждого канала приемного тракта:

- входное сопротивление – 50 Ом;
- выходное сопротивление – 50 Ом;
- коэффициент усиления в рабочей полосе частот – не менее 30 дБ;
- динамический диапазон относительно максимального уровня выходного сигнала – не менее 72 дБ.

Усилители мощности для каждого канала антенного выхода:

- входное сопротивление – 50 Ом;
- выходное сопротивление – 75 Ом;
- коэффициент усиления в рабочей полосе частот – не менее 12 дБ;
- динамический диапазон относительно максимального уровня выходного сигнала – не менее 72 дБ;
- линейность по выходу на эквиваленте нагрузки – не менее 5 мВ.

Модуль управления калибратора:

- уровень сигнала внешней синхронизации ТК0 – не менее 200 мВ;
- входное сопротивление канала синхронизации – 50 Ом;
- частота внешнего опорного генератора – 5 МГц;
- скважность сигнала внешнего ОГ – 2 раза;
- входное сопротивление канала внешнего опорного генератора – 50 Ом;
- уровень сигнала внешнего опорного генератора – не менее 200 мВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9958.pdf
2. <http://www.national.com/opf/LM/LMX2316.html>
3. http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc6175.pdf

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

²Омский государственный технический университет, Омск

³Инжиниринговая компания «Технопарк 21», Омск