

## СЕКЦИЯ 1

### РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ ДИАГРАММООБРАЗУЮЩЕЙ СХЕМЫ ДЛЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА БАЗЕ МОДУЛЬНЫХ ПРИБОРОВ NATIONAL INSTRUMENTS

А. Г. Акопян

Государственный инженерный университет Армении, Армения, Ереван

Потребность в реконфигурируемых и многолучевых антенных системах обусловлена многообразием условий функционирования современных средств радиосвязи, радиолокации, радиоастрономии, неотъемлемыми элементами которых являются антенны. Такие антенные системы обычно строятся на базе технологии фазированных антенных решеток (ФАР). Успехи современной микроэлектроники, обеспечившие создание быстродействующей цифровой элементной базы, позволяют строить антенные решетки, в которых, в отличие от традиционных ФАР, диаграммообразование осуществляется цифровым способом. Такие решетки, называемые цифровыми, обеспечивают воспроизводимость своих характеристик при массовом производстве, а также большую гибкость в управлении и улучшенные показатели функционирования по сравнению с ФАР с аналоговым диаграммообразованием [1].

В настоящей работе представлены результаты исследования возможности реализации цифровых антенных решеток (ЦАР) на базе модульных приборов компании National Instruments [2]. Принципиальная блок схема приемной цифровой антенной решетки приведена на рис. 1.



Рис. 1. Принципиальная блок-схема ЦАР

СВЧ-сигналы с элементов решетки проходят через схемы понижения частоты (например, построенные на принципе супергетеродинного

приема) и преобразуются в сигналы промежуточной частоты (ПЧ). Сигналы ПЧ подаются на приемник, где происходит их оцифровка, цифровой перенос на нулевую частоту (digital downconversion) разбиение на квадратурные потоки (при необходимости), умножение оцифрованных сигналов на весовые коэффициенты, формирование выходного сигнала ЦАР и другая обработка сигналов.

В данной статье не рассматривается аналоговая часть системы. Предполагается, что СВЧ-сигналы, принимаемые антенными элементами, уже преобразованы в сигналы ПЧ.

В качестве реализационной базы ЦАР была выбрана платформа PXI Express [3], которая обеспечивает возможность синхронизации работы модулей и широкополосную передачу данных между ними.

Система (рис. 2) включает в себя инструментальное шасси NI PXIe-1062Q, контроллер NI PXIe-8106, модуль синхронизации NI PXI-6653, а также трансиверы промежуточной частоты (ПЧ) NI PXIe-5641R.



Рис. 2. Внешний вид диаграммообразующей схемы ЦАР на базе модульных приборов National Instruments

Модуль PXIe-5641R имеет 2 приемных канала и 2 канала передачи. Сигналы в приемных каналах оцифровываются с помощью 14-разрядного аналого-цифровых преобразователей (АЦП) преобразуются в узкополосные сигналы, содержащие синфазную ( $I$ ) и квадратурную ( $Q$ ) составляющие, которые передается программируемому процессору, реализованному на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) [4]. Внешний вид и принципиальная блок-схема модуля представлены на рис. 3.

В FPGA происходит расчет весовых коэффициентов ЦАР, умножение принимаемых сигналов на эти коэффициенты, а также сложение

результатов умножений, в результате чего формируется выходной сигнал антенной решетки.

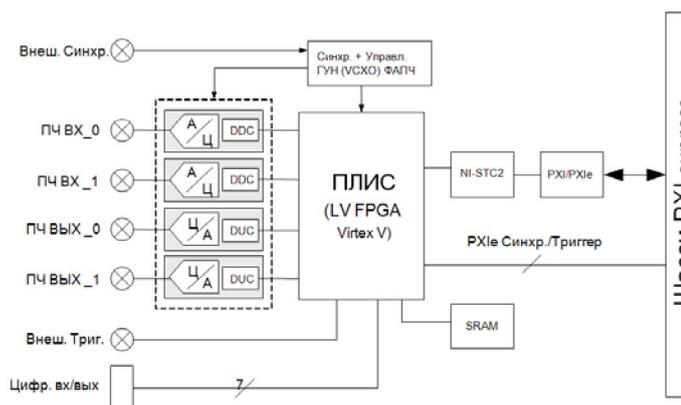
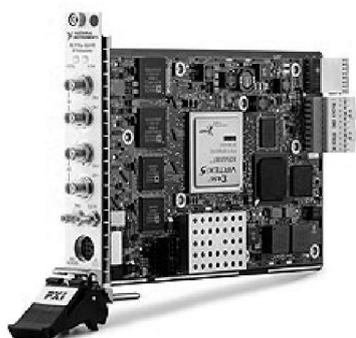


Рис. 3. Внешний вид и принципиальная блок-схема модуля NI PXIe-5641R:  
 а – внешний вид NI PXIe-5641R, б – принципиальная блок-схема NI PXIe-5641R

Для реализации ЦАР ключевым моментом является синхронизация АЦП модулей, для обеспечения синфазности сигналов в разных каналах решетки. Как видно из рис. 3 б в одном модуле оба АЦП получают тактовые импульсы с одного и того же тактового генератора, чем автоматически обеспечивается их синхронность. Для реализации антенной решетки с тремя и более элементами требуется несколько модулей ПЧ, работающих синхронно. Как уже отмечалось, платформа PXI предоставляет широкие возможности для синхронизации. Однако стандартными методами можно только синхронизировать тактовые генераторы модулей PXIe-5641R, что не позволяет достигнуть требуемого синфазного приема.

Для обеспечения синфазной оцифровки входных сигналов для нескольких модулей такая схема синхронизации является недостаточной, так как характеристики генераторов и цепей фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) разных модулей могут отличаться.

Чтобы обойти эти проблемы, была написана программа, позволяющая конфигурировать модули PXIe-5641R для работы в режиме прямой подачи импульсов дискретизации на АЦП с внешних источников. Тем самым тактовые генераторы и цепи ФАПЧ не включаются в цепь синхронизации АЦП. В качестве внешнего источника синхроимпульсов выбран модуль PXI-6653, который может выдавать тактовые импульсы со стабильностью до  $5 \cdot 10^{-8}$ .

Для проверки предлагаемого решения был проведен следующий эксперимент. Тактовые импульсы с частотой 100 МГц со сверхточного генератора PXI-6653 при помощи разветвителя были поданы на входы внешней синхронизации CLK IN двух модулей PXIe-5641R. Также на аналоговые входы этих модулей через разветвитель был подан синусоидальный сигнал с частотой 15 МГц с векторного генератора NI PXI-5441 (рис. 4). После запуска программы и процедуры калибровки, разность фаз между модулями не превышала 0,001741 радиан, что является вполне приемлемым для практики результатом.

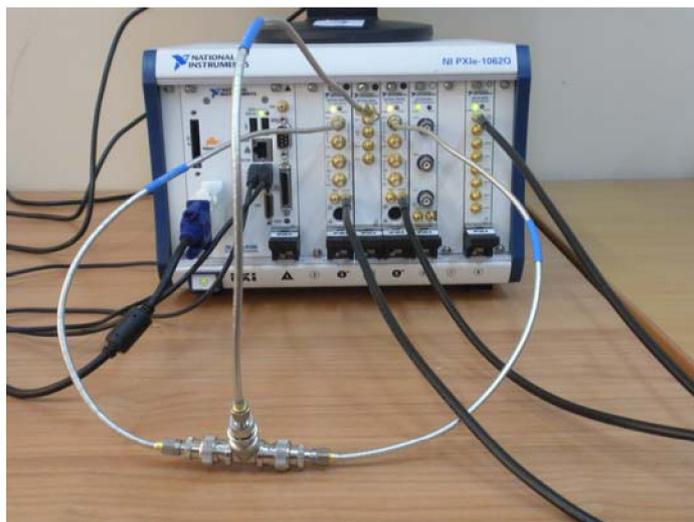


Рис. 4. Внешний вид системы синфазного приема

Таким образом, полученный результат демонстрирует возможность реализации диаграммообразующей схемы ЦАР на базе модульных инструментов. Пример программы по реализации ЦАР с использованием программной среды LabVIEW и инструментарием LabVIEW FPGA приведен в работе [5].

### Литература

1. Бахрах, Л. Д. Проблемы антенной техники / Л. Д. Бахрах, Д. И. Воскресенский. М. : Радио и связь, 1989. С. 95.
2. Understanding a modular instrumentation system for automated test // The Internet 2010 [<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4426>].
3. What is PXI // The Internet 2010 [<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4811>].
4. NI PXIe-5641R Product In-Depth// The Internet 2010 [<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8786>].
5. Акоюн, А. Г. Возможности исполнения цифрового диаграммообразования для антенных решеток на базе оборудования National Instruments. Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments // Сб. трудов VIII Международной научно-практической конференции. М.: РУДН, 2009. С. 249–251.