

Калибровка крупноапертурной цифровой антенной решетки (ЦАР)

Д. В. Губанов, М. Г. Вахлов, А. В. Бондаренко
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского
mihail54@yandex.ru, dmi-gubanov@mail.ru, vka@mil.ru

Аннотация. In the article, based on the analysis of known technical solutions, a method of calibration of a large-aperture AFAR receiver of a long-range radar is proposed, taking into account that the signal-to-noise ratio at the input of the AFAR receiver module when operating the radar in real conditions is about 10-6...10-3.

A variant of the technical implementation of the proposed method is considered, which differs from similar technical solutions by a higher accuracy of AFAR calibration while simplifying the design of the receiving modules.

Ключевые слова: receiving active phased array (AFAR); calibration of the receiving AFAR; receiving module (PM) of the AFAR; signal-to-noise ratio; quadrature components of the complex signal amplitude at the PM output

I. ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития технологий в радиоэлектронных средствах (РЭС) и комплексах дальнего обнаружения значительно выросла доля использования активных фазированных антенных решеток (АФАР) по сравнению с обычными типами антенн. Данный рост вызван необходимостью обеспечения высоких тактико-технических характеристик таких комплексов. АФАР содержат большое количество передающих, приемных или приемно-передающих активных модулей, в состав которых в общем случае входят усилители, генераторы, преобразователи частоты, согласующие устройства и т.д. Параметры этих элементов не являются абсолютно идентичными вследствие технологических причин, температурных воздействий, старения и др. Вследствие этого амплитудно-фазовое распределение электромагнитного поля на апертуре антенны становится неравномерным, что приводит к снижению ее коэффициента усиления и росту уровня боковых лепестков диаграммы направленности. Для сохранения расчетных параметров в процессе эксплуатации необходимо периодически проводить калибровку АФАР. Однако при использовании антенных решеток методы и способы их калибровки имеют ряд особенностей и существенно отличаются от калибровки обычных антенн.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Известны несколько способов калибровки приемных АФАР. Один из них состоит в том, что вспомогательной антенной излучают сигнал, принимают его контролируемой антенной, измеряют мощность сигнала на

выходе контролируемой антенны и сравнивают ее с заданным значением [1].

Недостаток этого способа состоит в том, что для обеспечения близкого к плоскому фронта электромагнитной волны, падающей на апертуру контролируемой крупногабаритной АФАР (фазовая неравномерность в крайних точках апертуры не должна превышать некоторого допустимого значения).

III. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Сущность предлагаемой методики калибровки крупноапертурной АФАР [5] заключается в том, что выравнивание амплитудно-фазового распределения поля на ее апертуре осуществляется путем умножения комплексных амплитуд выходных сигналов калибруемых приемных модулей на комплексные калибровочные коэффициенты, сформированные на основе сравнения комплексных амплитуд накопленных сигналов с выходов всех калибруемых приемных модулей с комплексной амплитудой накопленного сигнала с выхода опорного приемного модуля. При этом выполняют следующие операции. Формируют калибровочный сигнал (КС) в виде последовательности из N когерентных радиоимпульсов (N - число приемных модулей АФАР), мощность каждого из которых лежит в диапазоне мощностей поступающих на входы приемных модулей сигналов при работе РЛС в штатном режиме. Подают сформированный КС на входы каждого i -го приемного модуля ($i=0$ соответствует опорному приемному модулю, $i \in [1... (N-1)]$ соответствуют калибруемым приемным модулям). После предварительного усиления КС на несущей частоте, частотного преобразования, основного усиления на промежуточной частоте производят аналого-цифровое преобразование выходного сигнала с выделением квадратурных составляющих $Re \cdot \dot{U}_i$ и $Im \cdot \dot{U}_i$ его комплексной амплитуды \dot{U}_i .

Вариант технической реализации предлагаемой методики калибровки АФАР.

Структурная схема устройства, реализующего предлагаемую методику калибровки АФАР, приведена на рис. 1.

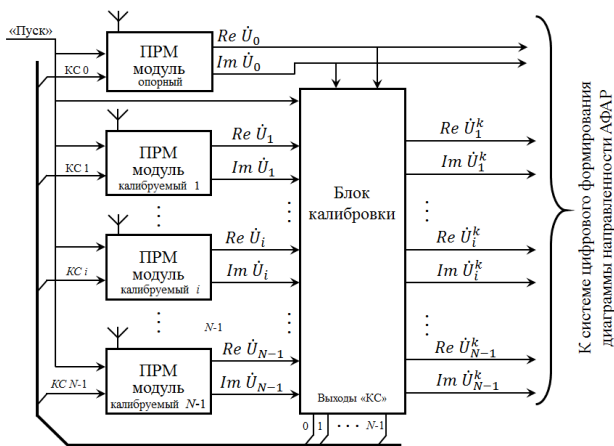


Рис. 1. Структурная схема устройства для калибровки приемной АФАР

Структурная схема блока калибровки показана на рис. 2.

Каждый приемный модуль АФАР содержит коммутатор, на управляющий вход которого с пульта управления РЛС подается команда «ПУСК» для перевода приемного модуля в режим «Калибровка».

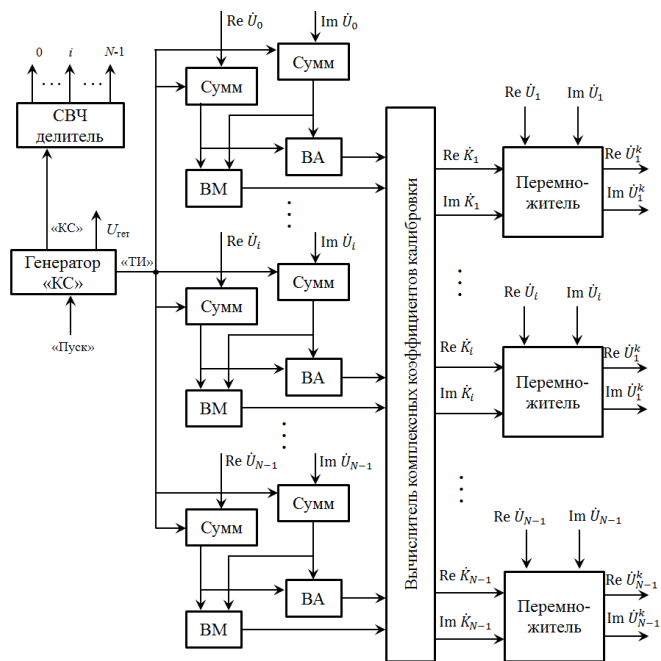


Рис. 2. Структурная схема блока калибровки

Генератор «КС» – генератор калибровочных сигналов «КС»;

СВЧ делитель – СВЧ делитель мощности;

Сумм – накапливающий сумматор квадратурных составляющих комплексных амплитуд выходных сигналов опорного (нулевого) и калибруемых приемных модулей;

ВМ – вычислитель модуля суммарной комплексной амплитуды выходных сигналов опорного (нулевого) и всех калибруемых приемных модулей;

ВА – вычислитель аргумента суммарной комплексной амплитуды выходных сигналов опорного (нулевого) и всех калибруемых приемных модулей;

Перемножитель – перемножитель комплексного калибровочного коэффициента i -го калибруемого приемного модуля и комплексной амплитуды выходного сигнала калибруемого приемного модуля.

Генератор калибровочных сигналов ГКС предназначен для формирования когерентной последовательности радиопульсов с частотой, равной рабочей частоте РЛС, мощность которых лежит в диапазоне мощностей поступающих на вход приемных модулей отраженных от цели сигналов при работе РЛС в штатном режиме. Кроме того, ГКС вырабатывает тактовые импульсы «ТИ» для синхронизации работы накапливающих сумматоров и напряжения гетеродина для смесителей приемных модулей.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа достоинств и недостатков известных технических решений предложена методика калибровки крупноапертурной АФАР РЛС дальнего обнаружения. Особенность данной методики состоит в том, что в качестве подаваемого на входы приемных модулей калибровочного сигнала применяется когерентная последовательность N радиопульсов (N – число приемных модулей), мощность каждого из которых одного порядка с мощностью сигналов, поступающих на входы приемных модулей при работе РЛС в штатном режиме.

Диаграмма направленности АФАР формируется путем весового суммирования калиброванных значений комплексных амплитуд выходных сигналов приемных модулей, что обеспечивает получение максимально возможных значений коэффициента направленного действия и точности управления положением главного лепестка диаграммы направленности АФАР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бубнов Г.Г. и др. Коммутационный способ измерения характеристик фазированных антенных решеток. М.: Радио и связь, 1989 г. 120 с.
- [2] Патент РФ № 2147753, G01S7/40. Способ калибровки антенной решетки / Б.Г. Йоханиссон, У. Фарссен. – № 97100131/09; Заявлено 01.06.1995. Опубликовано 20.04.2000.
- [3] Патент РФ № 2467346, G01S7/40. Способ калибровки активной фазированной антенной решетки / В.В. Задорожный, А.Ю. Ларин. – № 2011127436/08; Заявлено 04.07.2011. Опубликовано 20.11.2012.
- [4] Шишов Ю.А., Ворошилов В.А., Ясенков Т.В. Особенности калибровки приемных антенных решеток РЛС дальнего обнаружения. // Труды XXVIII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013 г., том 2, с. 127-135.
- [5] Патент РФ №2641615 H01Q 21/00. Способ и устройство для калибровки приемной активной фазированной антенной решетки Ю.А. Шишов, В.В. Подольцев, В.В. Подьячев, Д.В. Губанов, М.Г. Валхов, И.С. Луцько – №2016117444; Заявлено 04.05.2016. Опубликовано 18.01.2018.
- [6] Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. М.: Радиотехника, 2010 г. 144 с.