

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.317.3: 621.317.7: 621.396.6

Богданов  
Роман Андреевич

Методика выполнения измерений параметров приемопередающего модуля  
сантиметрового диапазона

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-38 80 01 «Приборостроение, метрология и информационно-  
измерительные приборы и системы»

---

Научный руководитель  
Ревин Валерий Тихонович  
Кандидат технических наук, доцент

---

Минск 2017

## ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Радиолокационные станции, спутники и системы радиоэлектронного подавления используют множество приемопередающих модулей (ППМ). Аппаратные средства ППМ устанавливаются за каждым антенным элементом в активной фазированной антенной решетке (АФАР), поэтому потенциально требуются сотни или тысячи модулей для одной РЛС.

Поскольку РЛС с АФАР включает в себя тысячи ППМ, повышение производительности их испытаний становится важным требованием. Типично ППМ нуждаются в большом объеме испытаний, позволяющих гарантировать, что все модули подходят для работы в фазированной решетке, в которой они используются. Дело осложняется еще и тем, что многие из таких модулей являются интеллектуальными устройствами, которые работают в различных режимах и требуют для каждого испытания множества команд от автоматизированного испытательного оборудования. Кроме того, испытание каждого модуля в процессе сборки выполняется за несколько шагов и требуется прослеживаемость результатов измерений от шага к шагу.

Рассмотрение обобщенной функциональной схемы приемного канала ППМ, приведенной на рисунке 1, позволяет понять необходимые объемы проводимых измерений и испытаний. Анализ рисунка показывает, что для измерения всех состояний приемного и передающего каналов и, следовательно, для его настройки, необходимо провести 4096 измерений на каждой частоте настройки. Даже при сведении к минимуму числа механических операций перестыковок для измерения всех состояний каналов АФАР требуется полная автоматизация измерительного процесса.

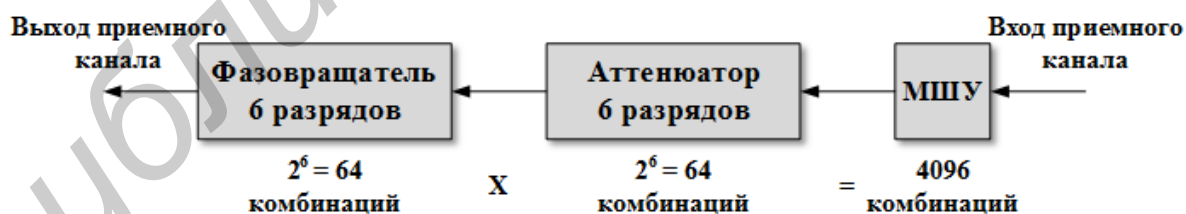


Рисунок 1 – Функциональная схема приемного канала приемопередающего модуля

Для сокращения времени измерения параметров ППМ необходимо автоматизировать процесс измерений и разработать соответствующую методику проведения измерений. Вместе с тем, следует подчеркнуть исключительную важность применения автоматизированных измерительных средств для измерения параметров ППМ. Цель данной работы является

разработка методики проведения измерений параметров приемопередающего модуля сантиметрового диапазона, обеспечивающей контроль всех необходимых параметров с помощью автоматизированного измерительного комплекса (АИК).

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертации излагается методика выполнения измерения параметров ППМ сантиметрового диапазона длин волн. Представлено краткое описание разработки, создания и функционирования ППМ сантиметрового диапазона длин волн. Обсуждаются основные источники погрешности измерения и способы их устранения. Рассматривается структура автоматизированного измерительного комплекса.

В диссертационной работе ставятся и решаются задачи:

- анализа структуры, разработанного автоматизированного измерительного комплекса, предназначенного для выполнения измерений параметров ППМ;
- разработка алгоритма проведения измерений с использованием данного АИК;
- разработка методики выполнения измерений параметров ППМ;
- разработка алгоритма оценивания неопределенности измерений с учетом всех значимых влияющих величин.

## БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, дается краткая характеристика ее разработанности, определяются объект и предмет исследования, цель и задачи, указана теоретико-методологическая основа, отмечены элементы научной новизны, формулируются основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Первая глава «Обзор измерительных систем и стендов для измерения параметров приемопередающего модуля сантиметрового диапазона длин волн» знакомит с серийно выпускающимися автоматизированными измерительными комплексами, измерительными системами и стендами, с рассмотрением их достоинств и недостатков. Рассматриваются подходы к методам выполнения измерения параметров ППМ сантиметрового диапазона длин волн.

Вторая глава «Приемопередающий модуль сантиметрового диапазона длин волн» носит теоретический и практический характер и состоит из трех подразделов.

В подразделе 2.1 «Основные параметры приемопередающего модуля» предъявляются технические требования к разрабатываемому ППМ.

В подразделе 2.2 «Описание структурной схемы приемопередающего модуля» рассмотрены особенности структура построения, разработанного ППМ.

В подразделе 2.3 «Описание работы приемопередающего модуля» излагается краткая информация о том, как функционирует ППМ.

В третьей главе «Измерительный стенд для приемопередающего модуля сантиметрового диапазона длин волн» носит практический характер и состоит из четырех подразделов.

В подразделе 3.1 «Описание структурной схемы измерительного стенда» рассматривается построение АИК на основе серийно выпускающихся измерительных приборах. Разъясняется принцип работы АИК, какие измерительные приборы в него входят, какую функцию выполняют. Также кратко описывается программное обеспечение, позволяющее управлять АИК.

В подразделе 3.2 «Измерение АЧХ приемного канала в приемопередающем модуле» рассматривается применение на практике АИК для измерения АЧХ, коэффициента усиления приемного канала ППМ и как проводились эти измерения. Показана возможность создания в автоматическом режиме протокола измерения с заранее заданной формой отчетности.

В подразделе 3.3 «Измерение АЧХ передающего канала в приемопередающем модуле» рассматривается применение на практике АИК для измерения АЧХ, коэффициента усиления передающего канала ППМ и как проводились эти измерения. Показана возможность создания в автоматическом режиме протокола измерения с заранее заданной формой отчетности.

В подразделе 3.4 «Измерение диаграммы АФС приемопередающего модуля» рассматривается и объясняется, почему необходимо проводить построение и измерение диаграммы амплитудно-фазового состояния ППМ.

В четвертой главе «Метрологическое обеспечение измерения параметров приемопередающего модуля сантиметрового диапазона длин волн» описана методика выполнения измерений для определения параметров с помощью созданного АИК. Так же описан алгоритм расчета неопределенности измерений с учетом все значимых влияющих величин.

В пятой главе представлены результаты опробования методики выполнения измерений. Были получены экспериментальные значения параметров ППМ таких как, АЧХ, ФЧХ, коэффициент усиления, проверена работа аттенюатора и фазовращателя, измерены значения КСВ по входу и выходу ППМ, приведены соответствующие графики.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа посвящена решению актуальной задачи: методике выполнения измерений параметров приемопередающего модуля сантиметрового диапазона длин волн. Процесс измерения параметров приемопередающих модулей является трудоемкой задачей и как правило требует дорогостоящего измерительного оборудования, квалифицированных специалистов, специального обустроенного помещения для проведения измерений.

В рамках данной работы был разработан автоматизированный измерительный комплекс на базе серийно выпускающегося оборудования и опробована методика выполнения измерений параметров приемопередающего модуля сантиметрового диапазона длин волн.

Основные результаты, полученные при выполнении магистерской работы можно сформулировать следующим образом:

- проведен обзор серийно выпускающихся автоматизированных измерительных комплексов, измерительных систем и стендов, рассмотрены их достоинства и недостатки;
- рассмотрены подходы к методам выполнения измерения параметров приемопередающих модулей сантиметрового диапазона длин волн;
- разработано специализированное программное обеспечение для управления автоматизированным измерительным комплексом;
- разработана методика проведения измерений, проведена обработка экспериментальных исследований при опробовании методики выполнения измерений.

Возможность использования стандартных измерительных приборов для достижения максимально высокой производительности открывает новые возможности для пользователей как в области разработки, так и производства.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Богданов, Р. А. Система функционального контроля submodule аттенуатор–фазовращатель приемопередающего модуля X-диапазона / Р. А. Богданов, Ю. С. Алькевич, В. А. Симоненко [и др.] // Минск: Метрология и приборостроение, 2016 г., с. 6-10.
2. Богданов, Р. А. Методика выполнения измерения коэффициента шума приемного тракта ППМ АФАР в полосе частот 9,5 – 9,8 ГГц / Р. А. Богданов, В. Т. Ревин // Телекоммуникационные системы и сети: материалы 52-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск: БГУИР, 2016 г. – с. 7-8.