

Автоматизация измерений СВЧ электрических параметров современных приемо-передающих модулей X-диапазона частот

С.А. Щёголев¹, М.С. Карасев¹, А.Г. Далингер¹, А.В. Адиатулин¹, А.П. Путилин¹, А.Д. Астахов²

¹АО «НПП «Исток» им. Шокина»

²АО «Научно-производственное объединение измерительной техники»

Аннотация: в данной работе описан многофункциональный серийно выпускаемый приемо-передающий модуль X-диапазона частот. Рассмотрена необходимость разработки нового подхода к автоматизации рабочих станций и программного обеспечения. Представлен стенд для измерения выходной импульсной мощности автоматизированным методом и аппроксимация полученных электрических параметров. Представлены основные достигнутые результаты.

Ключевые слова: приемо-передающий модуль, выходная импульсная мощность, коэффициент усиления, массив данных, автоматизация измерений.

1. Введение

Для решения проблем обеспечения эффективного контроля (сканирования) воздушного пространства в настоящее время, используются РЛС на базе перспективных многофункциональных систем с активными фазированными антенными решётками, являющиеся актуальным направлением в области развития современной СВЧ-техники. Эти многофункциональные системы обладают уникальными свойствами по сравнению с РЛС выполненных на основе ФАР или других систем. Такие системы способны определять и вести слежение (сопровождение) несколько целей, а также работать на нескольких диапазонах функционирования одновременно [1].

Основными элементами многофункциональных систем являются приемо-передающие модули (ППМ), которые позволяют изменять направление луча и форму диаграммы направленности, за счет изменения амплитуды и фазы СВЧ-сигналов приемного или передающего трактов. Количество таких модулей в системе может достигать нескольких тысяч. Уменьшение трудозатрат, удешевление и снижение времени на изготовление готовой продукции, является актуальной задачей в современном производстве приемо-передающих модулей для многофункциональных систем.

Одной из наиболее трудоемких и времязатратных операций, является настройка и измерение электрических параметров (ЭП) приемо-передающих модулей. Возможность снижения времени на выполнение таких операции, позволяет выпускать дополнительные единицы ППМ увеличивая объемы производства. Такое снижение времени можно добиться за счет разработки нового подхода к автоматизации рабочих станций и программного обеспечения [2].

2. Серийно выпускаемый многофункциональный ППМ X-диапазона частот

В данной работе рассматривается серийно выпускаемый многофункциональный ППМ X-диапазона частот, его особенности и электрические характеристики, а также представлена методика для измерения выходной импульсной мощности с применением векторного анализатора цепей (ВАЦ). На рисунке 1 изображен ППМ X-

диапазона частот, разработанный на АО «НПП «Исток» им. Шокина».

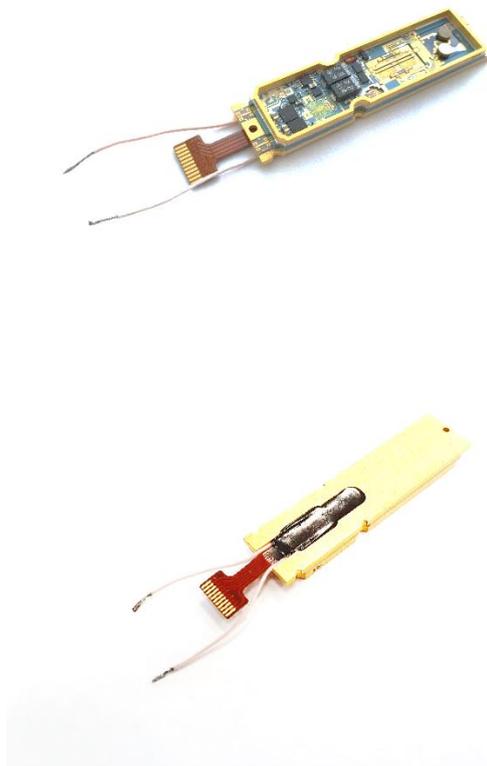


Рисунок 1. Многофункциональный ППМ X-диапазона частот

Элементы, входящие в состав ППМ X-диапазона частот, устанавливаются на керамическую плату, выполненную по технологии low temperature co-fired ceramic (LTCC). LTCC керамика позволяет добиться высокого уровня технологичности и уменьшения массогабаритных характеристик, за счет внутренней послойной разводки СВЧ проводников и линий питания-управления. Установленная в данном модуле LTCC плата изготовлена на предприятии АО «НПП «Исток» им. Шокина». Технологический процесс изготовления полностью соответствует высоким требованиям предъявляемым мировыми стандартами качества на продукцию такого класса, что обеспечивает минимальные потери СВЧ-энергии в проводниках [3].

Одним из путей к снижению массы РЛС, является снижение удельного веса ППМ. Достигается это применением в составе конструкций ППМ, перспективных карбид-кремниевых композиционных материалов (AlSiC), позволяющих снизить массу основания модуля более чем в 3 раза без потери теплоотводящих свойств и прочности конструкции.

В рассматриваемом ППМ X-диапазона частот для обеспечения питания и управления элементов приемного и передающего каналов, используется гибкая печатная плата (ГПП) которая соединяется с нижней частью LTCC платы посредством пайки. Использование ГПП позволяет повысить надежность и обеспечить простоту соединения модуля с блоком подрешетки, а также исключить ошибку монтажа при установке [4].

Для обеспечения радиогерметичности, а также защиты от механических и климатических воздействий место пайки заливается клеем ТПК-2. Для подачи питания на высокоточные активные элементы передающего канала используются силовые кабели МГТФ 0,2. [4,5].

В составе приемного и передающего тракта ППМ используются монолитно-интегральные схемы разработанные и произведенные на предприятии АО «НПП «Исток» им. Шокина». Значения коэффициента усиления канала ПРМ и выходная импульсная мощность канала ПРД приемо-передающего модуля X-диапазона частот представлены на рисунках 2 и 3.

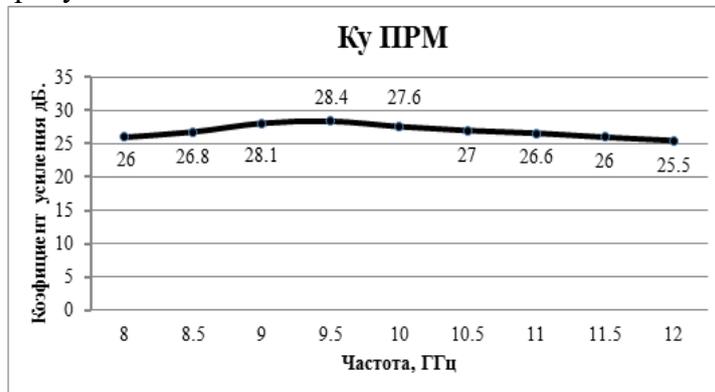


Рисунок 2. Коэффициент усиления ПРМ в зависимости от частоты

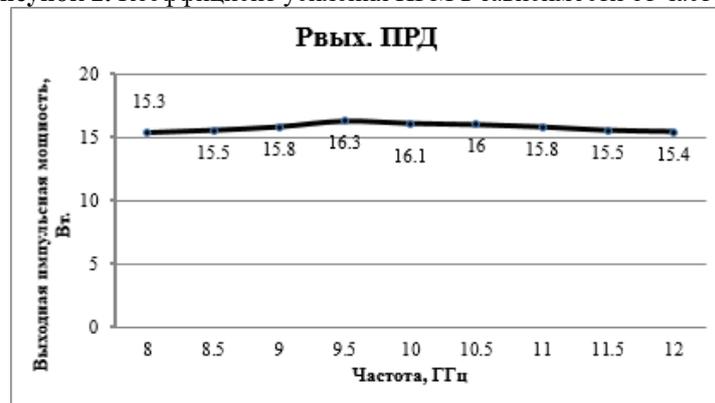


Рисунок 3. Выходная мощность ПРД в зависимости от частоты

Электрические характеристики выпускаемого модуля находятся на уровне с лучшими зарубежными аналогами.

3. Автоматизация измерений СВЧ электрических параметров приемо-передающего модуля

В ходе серийного выпуска данного модуля требуется снизить трудозатраты, увеличить скорость настройки и измерения ЭП ППМ. В настоящее время действующие стенды и методы измерения ЭП, включают в себя большое количество приборов и множество коммутаций. Для каждого ЭП необходимо производить рассоединение и обратное соединение приборов, что приводит к снижению точности получаемых ЭП, износу соединительных кабелей и СВЧ-переходов, а также к увеличению времени, затраченного на измерение ЭП ППМ. При таком подходе все получаемые данные записываются в паспорт на изделие вручную.

Для автоматизации измерений и исключения всех вышеперечисленных операций из производственного процесса, был разработан стенд (рис. 5) и специальное программное обеспечение для измерения импульсной выходной мощности с помощью ВАЦ.

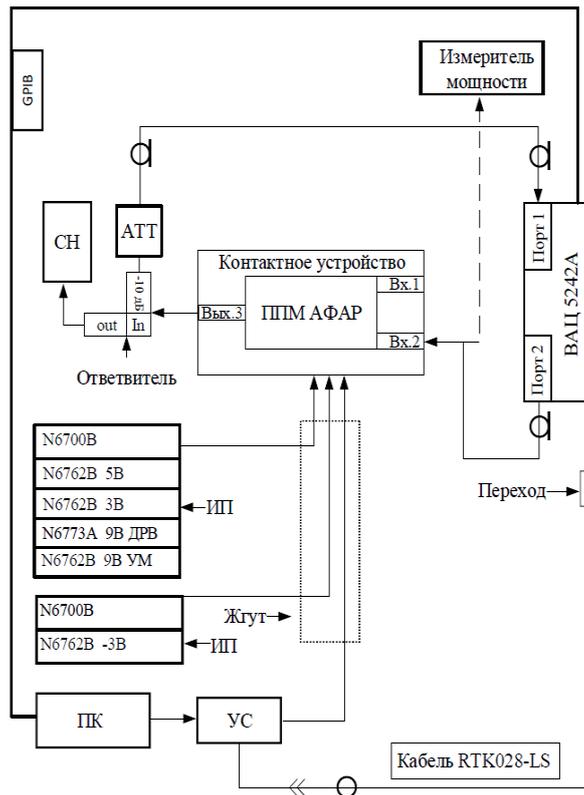


Рисунок 4. Стенд для измерения выходной импульсной мощности с помощью ВАЦ

Измеряемый ППМ устанавливается в контактное устройство. Коммутация контактного устройства и ВАЦ производится в соответствии со схемой (рис. 4). АТТ в ответвляемой линии передачи с НО используется для поглощения мощности и снижения ее до номинальной в соответствии с руководством по эксплуатации ВАЦ (менее 30 дБм или менее 1 Вт). Установленная после НО СН, используется для поглощения проходной мощности высокого уровня амплитуды с передающего канала. Перед началом измерений необходимо произвести калибровку ВАЦ по уровню выходной мощности в соответствии с руководством по эксплуатации.

В результате экспериментального измерения выходной импульсной мощности на разработанном стенде был получен массив данных, сформирован график зависимости выходной импульсной мощности от частоты, КСВН входа\выхода, а также появилась возможность получать данные и производить анализ фазовой характеристики передающего канала. Аппроксимация полученных результатов представлена на рисунке 5.

Данная методика позволила снизить время настройки передающего канала, так как на ВАЦ представлена аппроксимация выходной импульсной мощности и измерение на каждой частотной точке не требуется.

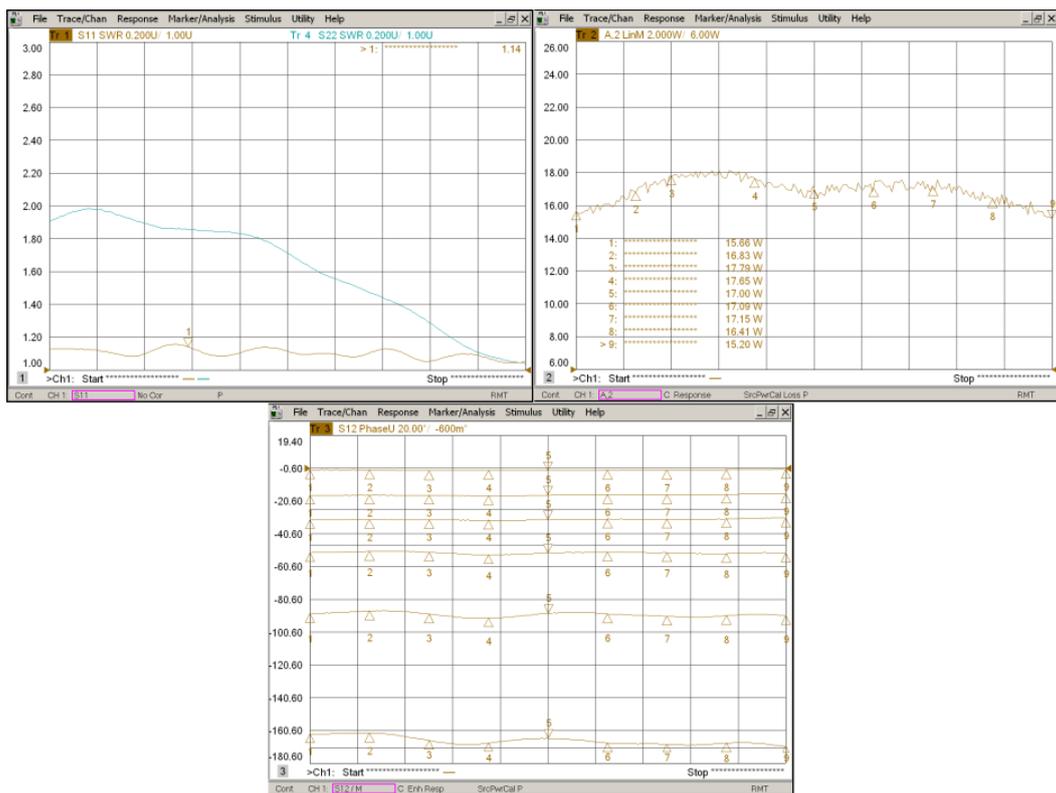


Рисунок 5. Аппроксимация полученных результатов ЭП

Зависимости операции от времени при использовании метода 1 и метода 2 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная таблица

Наименование операций	Время	
	Ручной метод	Автоматизированный метод
Измерение выходной мощности	5 минут	
Расчет КПД	2 минуты	
Неравномерность выходной мощности	10 секунд	10 секунд
Измерение фазовых состояний	Нет возможности	
Создание протокола (паспорта)	5 минут	
Настройка	30 минут	10 минут

Как видно из таблицы 1, на операцию настройки и измерения ЭП приемопередающего модуля затрачивалось 40 минут. Применение нового подхода к автоматизации позволило сократить трудозатраты, время на настройку и измерение электрических характеристик ППМ (10 минут на модуль), и тем самым увеличить объёмы производства.

Список литературы

1. Гостюхин В.Л., Трусов В.Н., Гостюхин А.В. Активные фазированные антенные решетки // Радиотехника. - 2011. - 304с.
2. Малахов Р.Ю. Антенные решетки современных радиоэлектронных систем // М.: Доброе слово. - 2015. - 208 с.
3. Карасев М.С., Далингер А.Г., Шацкий С.В., Щеголев С.А., Адиатулин А.В. Приемопередающий модуль АФАР X-диапазона с внутренней калибровкой приемника и функцией проверки приемного и передающего каналов // Материалы конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ» г. Санкт-Петербург. – 2019. – С.156-158.

4. Карасев, М.С. Приемо-передающий модуль X-диапазона с внутренней проверкой электрических параметров приемного и передающего каналов // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2020. – Вып. 2(545).
5. Карасев М.С., Далингер А.Г., Шацкий С.В., Жерновенков В.А. Перспективный многофункциональный приемо-передающий модуль АФАР X-диапазона // Научно-технический сборник «Электронная техника» Серия 1 «СВЧ-техника», Выпуск 1(532) – 2017г., стр. 45-48