

Алькевич Ю.С.,
Богданов Р.А.,
Мальцев О.С.,
Наумович Н.М.,
Павлючик А.А.,
Ревин В.Т.,
Симоненко В.А.

СИСТЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СУБМОДУЛЯ АТТЕНЮАТОР – ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ X-ДИАПАЗОНА

Аннотация

В статье предложена схема построения системы функционального контроля параметров субмодуля аттенюатор – фазовращатель приемопередающего модуля (ППМ) активной фазированной антенной решетки (АФАР) X-диапазона. Приведены результаты измерения основных параметров субмодуля. Изложен способ регистрации изменений ослабления и фазового сдвига СВЧ сигнала в зависимости от управляющих цифровых кодов.

Ключевые слова: субмодуль, приемопередающий модуль, аттенюатор, фазовращатель, LabVIEW.

Введение

ППМ являются ключевыми элементами АФАР [1]. Основное назначение ППМ [2] – усиление сигналов передатчика и приемника с регулировкой их по фазе и амплитуде в рабочем диапазоне частот в соответствии с алгоритмом работы системы.

ППМ X-диапазона, разработанный и изготовленный авторским коллективом, представляет собой последовательное соединение трех субмодулей. Упрощенная структурная схема такого ППМ приведена на рисунке 1. Первый субмодуль осуществляет переключение поляризации излучаемых и принимаемых СВЧ сигналов. Второй субмодуль обеспечивает формирование заданного уровня СВЧ мощности в излучателе АФАР (передающий канал) и прием СВЧ сигналов с требуемой чувствительностью (приемный канал), управление коммутатором приема-передачи. Третий субмодуль управляет отдельно амплитудой и фазой излучаемых и принимаемых СВЧ сигналов с обеспечением требуемой глубины регулировки, точности установки в заданном частотном и динамическом диапазонах [3].

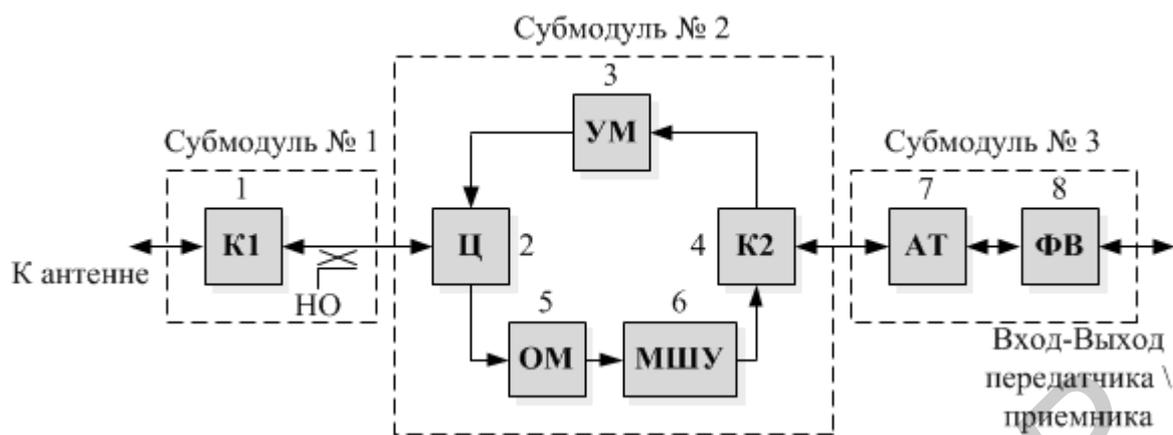


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема ППМ: 1 – ключ переключения поляризации СВЧ сигнала и направленный ответвитель; 2 – ферритовый циркулятор; 3 – цепочка усилителей мощности; 4 – ключ приема-передачи; 5 – ограничитель мощности; 6 – цепочка малошумящих усилителей; 7, 8 – дискретные аттенюатор и фазовращатель, управляемые цифровыми кодами

Фотография изготовленного субмодуля с аттенюатором и фазовращателем, размещенного в специализированной оснастке с кросс-платами, представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Вид субмодуля без экранирующей крышки, размещенного в специализированной оснастке с кросс-платами

Постановка задачи

Одной из важнейших задач при изготовлении субмодулей, входящих в состав ППМ, является контроль и измерение параметров данных субмодулей, а также настройка и проверка работоспособности входящих в него элементов [4].

Для решения этой задачи была разработана система функционального контроля субмодулей ППМ, обеспечивающая сокращение временных издержек при настройке и тестировании большого количества образцов.

Общий принцип работы

Разработанный ППМ реализует следующие функции:

- формирует заданный уровень СВЧ мощности в излучателе АФАР;
- принимает СВЧ сигналы с требуемой чувствительностью и защищает малошумящие усилители приемного канала;

- управляет отдельно амплитудой и фазой излучаемых и принимаемых СВЧ сигналов с обеспечением требуемой глубины регулировки, точности установки и стабильности во времени в заданном частотном и динамическом диапазонах;
- переключает поляризации излучаемых и принимаемых СВЧ, сигналов;
- управляет коммутатором приема-передачи;
- компенсирует температурную зависимость коэффициентов передачи ППМ в режимах передачи и приема;
- принимает и хранит кодовые команды системы управления;
- выдает коды состояния основных параметров и общего сигнала исправности для контроля.

Функциональный контроль submodule аттенюатор – фазовращатель заключается в регистрации изменений ослабления и фазового сдвига СВЧ сигнала в зависимости от управляющих цифровых кодов. Разработанный ППМ использует дискретные аттенюатор и фазовращатель, которые выполнены по технологии монолитных интегральных схем (МИС) на структурах GaAs. СВЧ МИС аттенюатора имеет шесть коммутируемых ячеек (A1 – 0,5 дБ, A2 – 1,0 дБ, A3 – 2,0 дБ, A4 – 4,0 дБ, A5 – 8,0 дБ, A6 – 16 дБ) с максимальным ослаблением 31,5 дБ. МИС СВЧ фазовращателя содержит каскадное включение шести независимых секций на дискретное изменение фазы на 5,625°/11,25°/22,5°/45°/90°/180°.

Для измерения параметров submodule была разработана система, структурная схема которой изображена на рисунке 3.

При измерении параметров submodule аттенюатор – фазовращатель использовались:

- векторный анализатор цепей (ВАЦ) *R&S ZNB 20*;
- блок питания в виде трехканального источника питания *Rigol DP832*;
- персональный компьютер (ПК);
- плата управления – плата сбора данных и управления *National Instruments PCI-6251*;
- блок соединений – *SCB-68*.



Рисунок 3 – Структурная схема системы функционального контроля submodule ППМ

Разработано программное обеспечение (ПО) для управления submodule и системой контроля в среде графического программирования *LabVIEW* [6, 7]. Инструментарий графической среды программирования *LabVIEW* позволяет использовать цифровые выводы платы управления и разрабатывать необходимое ПО для управления подключаемыми устройствами.

Плата управления и сбора данных *National Instruments PCI-6251* [5] имеет 24 цифровых входа-выхода с логическими уровнями напряжений 0/+5 В. Разработанное ПО позволяет с помощью ПК задавать требуемые значения ослаблений аттенюатора и фазовых сдвигов фазовращателя. Лицевая панель виртуального прибора (ВП), разработанного в среде графического программирования *LabVIEW*, представлена на рисунке 4.

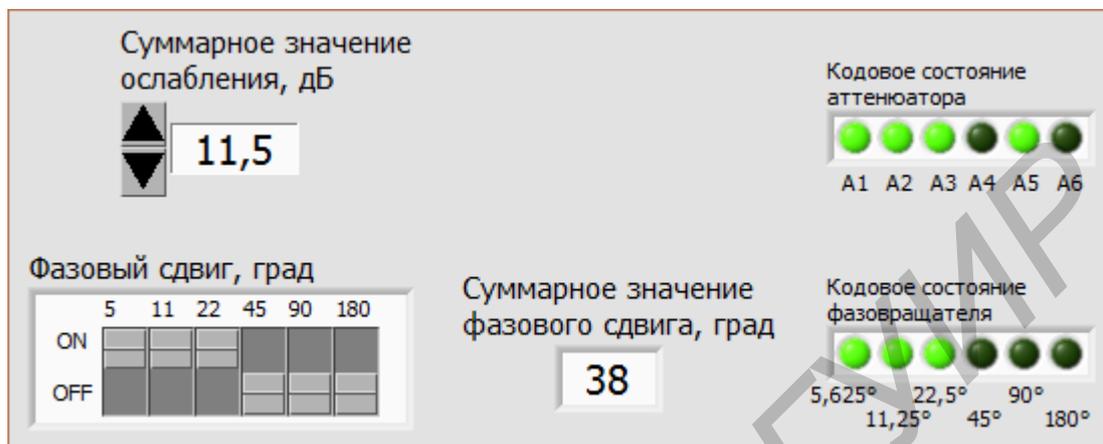


Рисунок 4 – Лицевая панель виртуального прибора для управления submodule

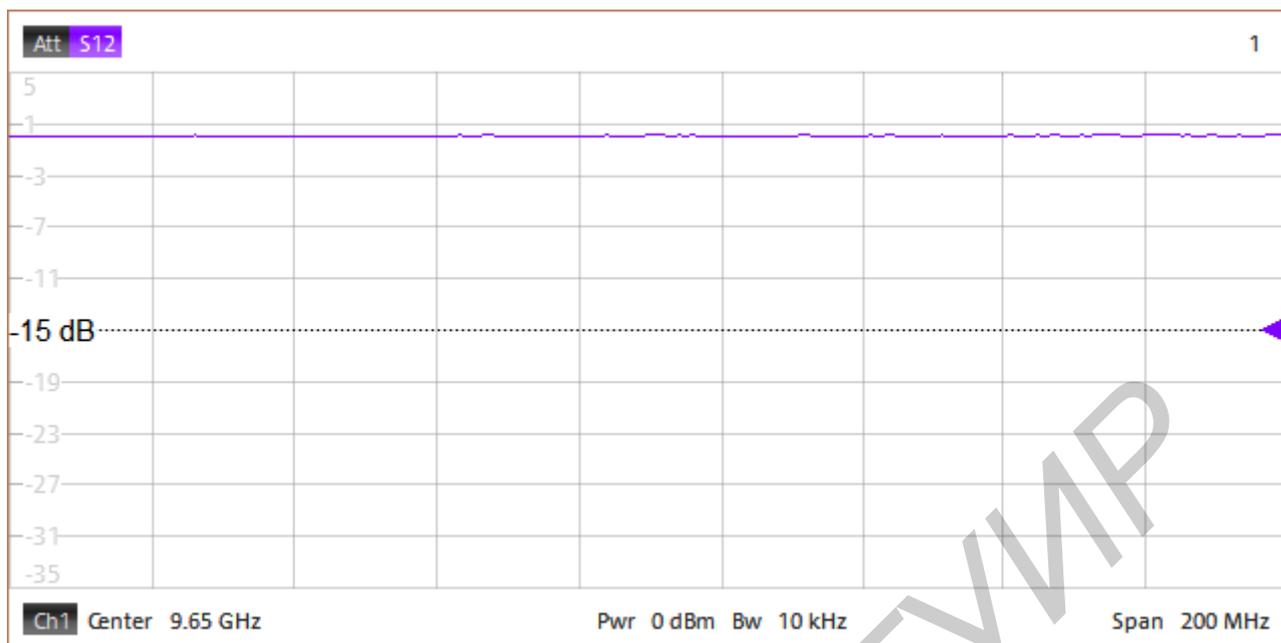
Переключение состояний аттенюатора и фазовращателя происходит путем изменения состояния элементов управления ВП. ПО интерпретирует положение элементов управления ВП в цифровой код, который затем преобразуется в управляющие сигналы платы управления. Управляющие цифровые коды, задаваемые на лицевой панели ВП системы с платы управления *National Instruments PCI-6521*, поступают на блок соединений *SCB-68*, к которому подключен submodule. С помощью ВАЦ [8,9] происходит регистрация изменений и измерение выходных сигналов submodule в зависимости от подаваемых на него управляющих комбинаций.

Результаты измерения параметров submodule с использованием разработанной системы функционального контроля

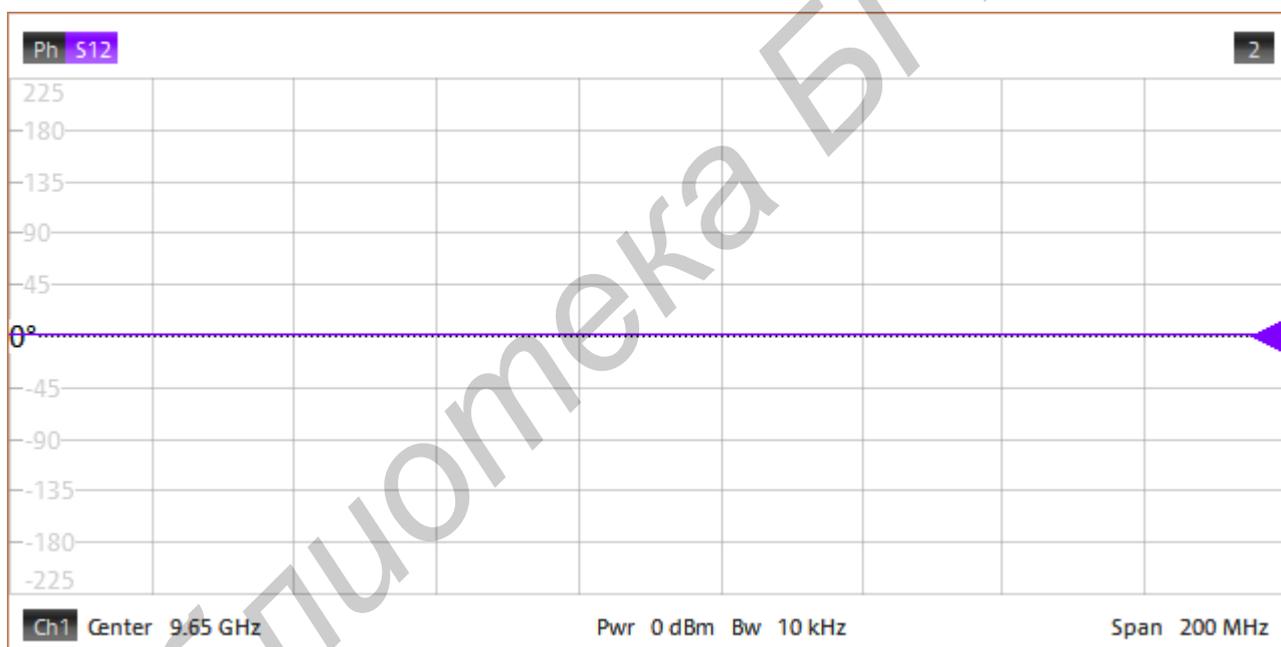
Перед измерением параметров submodule была проведена комплексная калибровка ВАЦ по амплитуде и фазе в диапазоне частот 9,55 – 9,75 ГГц при выходной мощности исследуемого СВЧ сигнала 0 дБм.

Чтобы зарегистрировать и измерить конкретные значения ослабления аттенюатора и фазового сдвига фазовращателя, необходимо произвести повторную калибровку ВАЦ с подключенным к нему submodule в диапазоне частот 9,55 – 9,75 ГГц. Такой метод калибровки позволяет компенсировать вносимое ослабление и фазовый сдвиг СВЧ сигнала submodule и наблюдать на экране ВАЦ конкретные значения ослабления аттенюатора и фазового сдвига фазовращателя в зависимости от управляющих цифровых кодов.

Зависимости ослабления и фазового сдвига СВЧ сигнала от частоты после повторной калибровки ВАЦ с submodule при цифровых кодовых состояниях аттенюатора и фазовращателя 0 дБ и 0° соответственно представлены на рисунке 5.



a



б

a – при цифровом коде состояния аттенюатора 0 дБ

б – при цифровом коде состояния фазовращателя 0

Рисунок 5 – Зависимость ослабления и фазового сдвига СВЧ сигнала от частоты при повторной калибровке векторного анализатора цепей

Представленные на рисунке 5 результаты показывают, что после повторной калибровки ВАЦ с submodule ослабление и фазовый сдвиг СВЧ сигнала на частоте

9,65 ГГц равны минус 0,14 дБ и 1,4° соответственно. Данные значения обусловлены погрешностью калибровки ВАЦ и разбросом параметров МИС.

В таблице 1 представлены измеренные значения ослабления и фазового сдвига СВЧ сигнала на частоте 9,65 ГГц при основных состояниях аттенюатора и фазовращателя в зависимости от управляющих цифровых кодов.

Таблица 1 – Измеренные значения ослабления и фазового сдвига СВЧ сигнала

Цифровой код аттенюатора	Ослабление сигнала, дБ	Цифровой код фазовращателя	Фазовый сдвиг сигнала, град.
0	- 0,14	0	1,4
0,5	- 0,41	5	7,1
1	- 1,15	11	16,2
2	- 1,96	22	26,4
4	- 3,8	45	52,7
8	- 7,05	90	101,6
16	- 15,23	180	187,3
31,5	- 27,5		

Из рисунка 6 видно, что аттенюатор обеспечивает требуемое ослабление СВЧ сигнала согласно управляющему цифровому коду (см. таблицу 1).

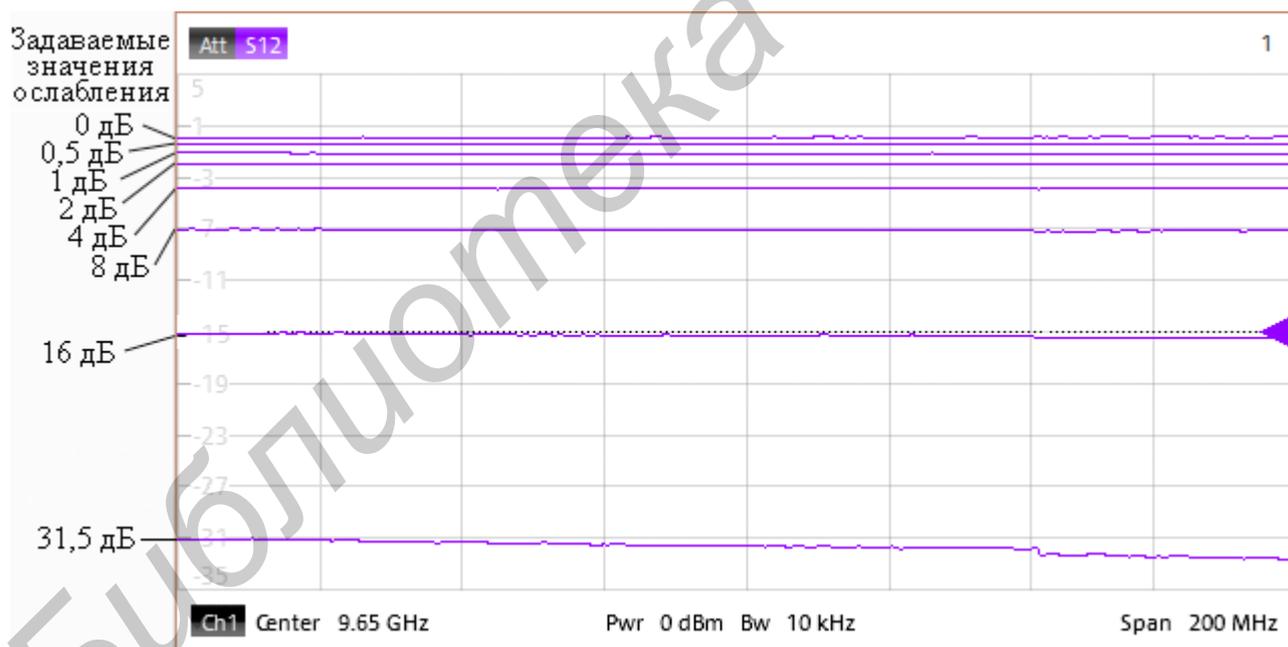


Рисунок 6 – Зависимости ослабления СВЧ сигнала от частоты при основных состояниях аттенюатора

Представленные на рисунке 7 функциональные зависимости показывают, что фазовращатель обеспечивает установку требуемых фазовых сдвигов СВЧ сигнала согласно управляющим цифровым кодам, подаваемым на его входы управления (см. таблицу 1).

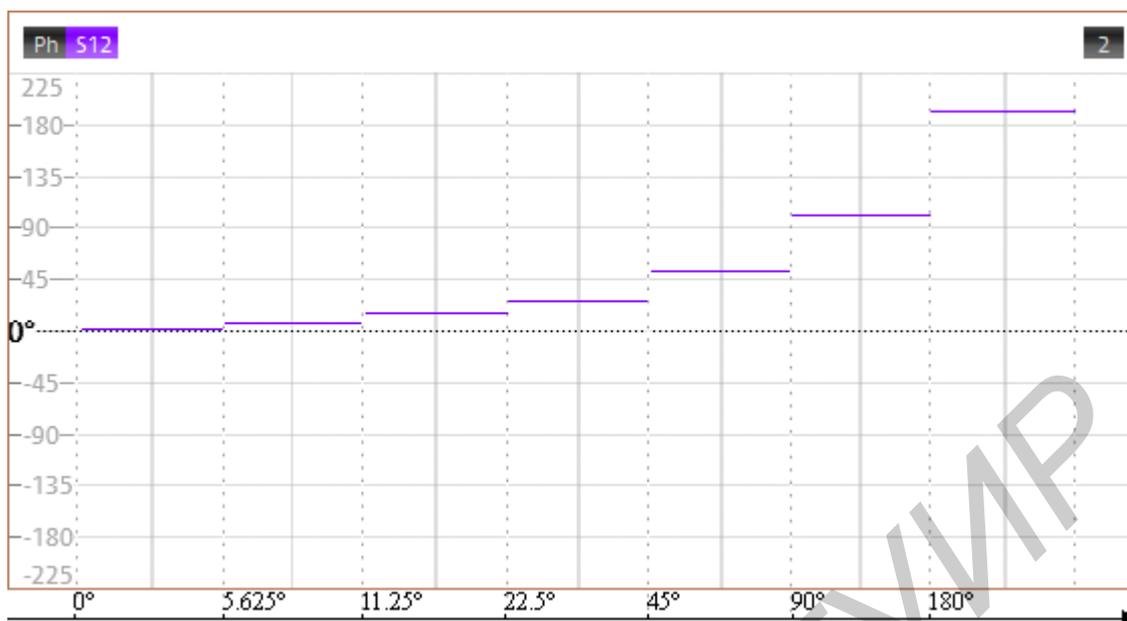


Рисунок 7 – Зависимости фазового сдвига СВЧ сигнала от частоты при основных состояниях фазовращателя

Неточная установка затуханий и фазовых сдвигов СВЧ сигнала по отношению к цифровым кодам объясняется наличием технологической погрешности при изготовлении СВЧ МИС и погрешности измерений системы функционального контроля.

Заключение

Разработана система функционального контроля основных параметров submodule, входящих в ППМ, с использованием среды графического программирования *LabVIEW*.

Разработанный метод функционального контроля позволяет за короткое время осуществить измерение параметров данного submodule ППМ. Система, построенная на основе предложенной структурной схемы, в дальнейшем может стать основой для создания автоматизированного измерительного комплекса измерения параметров ППМ.

Литература

- [1] Электроника НТБ [Электронный ресурс] / Монолитные интегральные схемы СВЧ – технологическая основа активных фазированных антенных решеток. Режим доступа: <http://www.electronics.ru/journal/article/3458>. Дата доступа: 09.08.2016.
- [2] Boles T. [et al.] MMIC Based Phased Array T/R Modules // Proceedings of the International IEEE Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems (COMCAS), 2010.
- [3] Электроника НТБ [Электронный ресурс] / GaN микросхемы приемопередающих модулей активных фазированных антенных решеток – Европейские разработки. Режим доступа: <http://www.electronics.ru/journal/article/289>. Дата доступа: 09.08.2016.
- [4] Белый Ю.И. [и др.]. Многоканальные приемопередающие модули для АФАР X-диапазона // Антенны. 2008. № 9.
- [5] National Instruments [Электронный ресурс] / NI multifunction DAQ devices. Access mode: <http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-22>. Date of access: 09.08.2016.

[6] National Instruments. LabVIEW [Электронный ресурс] / Быстрая разработка в LabVIEW. Режим доступа: http://www.labview.ru/labview/what_is_labview/index.php. Дата доступа: 09.08.2016.

[7] Джеффри Тревис. LabVIEW для всех / пер. с англ. Н.А. Клушин. М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2005. 544 с.: ил.

[8] Михаэль Хибель. Основы векторного анализа цепей / пер. с англ. С.М. Смольского; под ред. У. Филипп. М.: Изд. дом «МЭИ». 500 с.: ил.

[9] R&S ZNB/ZNBT Vector Network Analyzers User Manual [Электронный ресурс] / Phase measurement. Access mode: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manufacturers/gb_1/z/znb_1/ZNB_ZNBT_UserManual_en_34.pdf. Date of access: 09.08.2016.

THE FUNCTIONAL CONTROL SYSTEM FOR SUBMODULE “ATTENUATOR-PHASE SHIFTER” OF THE X-BAND TRANSMIT- RECEIVE MODULE

Alckevich Y.S.,
Bogdanov R.A.,
Maltsev O.S.,
Naumovich N.M.,
Pavlyuchyk A.A.,
Revin V.T.,
Simonenko V.A.

Abstract

In this article the architecture of the parameters functional control system for X-band phased array transmit-receive module is suggested. Measurement results of the essential submodule parameters are presented. The registration method of microwave signal attenuation and phase shift variation depending on digital control code is described.

Алькевич Ю.С.	_____	«11» октября 2016 г.
Богданов Р.А.	_____	«11» октября 2016 г.
Мальцев О.С.	_____	«11» октября 2016 г.
Наумович Н.М.	_____	«11» октября 2016 г.
Павлючик А.А.	_____	«11» октября 2016 г.
Ревин В.Т.	_____	«11» октября 2016 г.
Симоненко В.А.	_____	«11» октября 2016 г.

Алькевич Юрий Святославович, младший научный сотрудник, БГУИР, г. Минск

Богданов Роман Андреевич*, младший научный сотрудник, БГУИР, г. Минск (почтовый адрес: 220013, ул. П. Бровки 6, 201; телефон: +375-25-534-48-64; e-mail: bogdanov@bsuir.by)

Мальцев Олег Сергеевич, инженер, БГУИР, г. Минск

Наумович Николай Михайлович, директор Центра 1.6: «Научно-конструкторский центр перспективных радиоэлектронных систем сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн», ведущий научный сотрудник Центра 1.6, кандидат технических наук, БГУИР, г. Минск

Павлючик Алексей Арсеньевич, заместитель начальника управления «Технология» – начальник научно-исследовательского отдела СВЧ-устройств, ОАО «Минский НИИ радиоматериалов», г. Минск

Ревин Валерий Тихонович, ведущий научный сотрудник Центра 1.6, доцент, кандидат технических наук, БГУИР, г. Минск

Симоненко Виктор Андреевич, младший научный сотрудник, БГУИР, г. Минск