

Модуль СВЧ переключателя со встроенным управлением

Л.М. Семенова, А.К. Адамов, А.А. Кутепов, А.М. Осипов

ЗАО «НПП «Планета-Аргалл»

Аннотация: В статье представлены результаты разработки твердотельного СВЧ переключателя со встроенным драйвером управления с одним СВЧ входом и двумя СВЧ выходами. СВЧ переключатель выполнен в бескорпусном исполнении в виде кристалла ("чип") с приемкой "5" и с приемкой "1" в корпусном исполнении в безвыводном металлокерамическом корпусе типа QFN, предназначенном для поверхностного монтажа. СВЧ переключатель разработан и изготовлен предприятием ЗАО "НПП "Планета-Аргалл". Данные типы СВЧ переключателей широко применяются при создании приемопередающих модулей, средств мобильной связи и в других СВЧ применениях.

Ключевые слова: СВЧ переключатель, Управляющий модуль, Кристалл, Поверхностный монтаж, QFN.

1. Введение

Предприятие ЗАО "НПП "Планета-Аргалл" специализируется на разработке и серийном производстве СВЧ ЭКБ на арсениде галлия – СВЧ малошумящих полевых транзисторов с барьером Шоттки (ПТШ), монолитных интегральных схем (МИС) усилителей и твердотельных модулей различного функционального назначения на их основе.

Собственная технологическая база изготовления малошумящих СВЧ ПТШ, в том числе транзисторов с высокой подвижностью электронов (рНЕМТ) с субмикронным затвором длиной 0,25 мкм, опыт успешного проведения опытно-конструкторских разработок, наличие высококвалифицированных кадров позволяют предприятию вести производство конкурентоспособной продукции.

В последнее время, в целях импортозамещения, возникает острая необходимость в расширении перечня отечественных СВЧ устройств. Одни из наиболее востребованных СВЧ-компонентов – твердотельные переключатели, которые используются при создании приемопередающих модулей, средств мобильной связи, а также в других приложениях. Твердотельные переключатели нашли широкое применение в СВЧ-технике и являются одними из самых распространенных радиотехнических устройств.

Серийный выпуск СВЧ переключателей позволит использовать отечественные комплектующие в ответственных узлах радиоаппаратуры СВЧ, что поможет решить проблему импортозамещения.

Поставленная перед специалистами задача – это разработка и производство на отечественном предприятии СВЧ переключателя со встроенным драйвером управления с одним СВЧ входом и двумя СВЧ выходами с диапазоном рабочих частот от 0,01 ГГц до 10 ГГц.

2. Основная часть

При разработке СВЧ переключателя за основу был взят технологический процесс серийного производства МИС рНЕМТ-0,25 на арсениде галлия, позволяющей изготавливать МИС усилителей и управляющих модулей.

Разработанные СВЧ переключатели реализованы на рНЕМТ структурах и, в

отличие от СВЧ переключателей на основе р-і-п-диодов, обладают более высоким быстродействием и требуют значительно меньших энергетических затрат на переключение.

На предприятии был разработан и изготовлен модуль СВЧ переключателя со встроенным управлением "на один вход и два выхода" – модуль М44228. Электрическая схема состоит из двух функциональных узлов: переключателя и драйвера управления и представлена на рисунке 1. Управление СВЧ переключателем происходит согласно таблице 1.

Таблица 1. Таблица истинности состояний переключателя с драйвером

Управляющее напряжение, Уупр, В	Выход 1	Выход 2
0	Выключен	Включен
5	Включен	Выключен

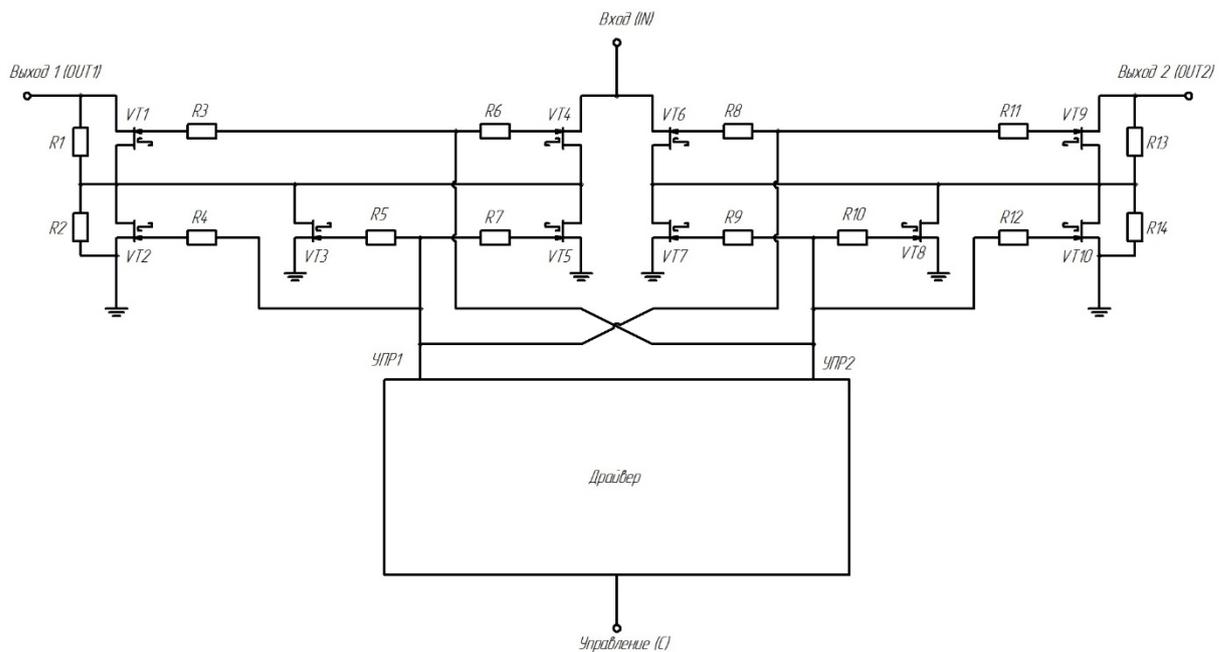


Рисунок 1. Структурная электрическая схема СВЧ переключателя со встроенным драйвером управления.

С драйвера на входы управления переключателем подается два уровня инверсных напряжений, параллельно по входам 1 и 2 управления (УПР1 и УПР2).

При подаче на вывод УПР2 напряжения 0 В транзисторы VT1, VT4, VT7, VT8, VT10 переходят в открытое состояние.

При подаче на вывод УПР1 напряжения -5 В транзисторы VT2, VT3, VT5, VT6, VT9, переходят в закрытое состояние. Сопротивление вход-выход 2 переключателя возрастает и сигнал через открытые транзисторы VT4 и VT1 поступает на выход 1. Прходной транзистор VT1 позволяет согласовать выход 1 переключателя и увеличить развязку в широком диапазоне частот. Поскольку шунтирующие транзисторы VT2, VT3, VT5 находятся в закрытом состоянии, сигнал проходит на выход 1 практически без потерь. Шунтирующие транзисторы VT7, VT8, VT10 находятся в открытом состоянии и дополнительно улучшают развязку между каналами переключателя. Резистор R13, подключенный к стоку и истоку транзистора VT9, обеспечивает согласование выхода 2 в выключенном состоянии.

При инверсии управляющих напряжений схема переключает сигнал с входа на выход 2.

Переключатель и драйвер управления разработаны на нормально открытых рНЕМТ транзисторах, которые работают в ключевом режиме, также в состав электрической схемы СВЧ переключателя входят резисторы. Схемотехника переключателя реализована таким образом, что требование к точности номинала резисторов, входящих в схему, невысоки, важно выполнить соотношение резисторов в схеме.

Модуль М44228 представляет собой кристалл монолитной интегральной схемы на арсениде галлия. Изначально технологический маршрут изготовления модуля СВЧ переключателя представлял собой изготовление активных элементов – транзисторов по технологии рНЕМТ-0,25 и пассивных элементов по токонопленочной технологии. Невысокие требования к точности номиналов резисторов позволили рассмотреть возможность изготовления резисторов в объеме полупроводника – в n+-слое арсенида галлия. Применение технологии полупроводниковых резисторов при изготовлении СВЧ переключателя позволяет сократить количество технологических операций, и как следствие, упростить технологический маршрут изготовления кристалла, уменьшить срок его изготовления и повысить выход годных изделий.

В настоящее время технологический маршрут изготовления модуля СВЧ переключателя представляет собой изготовление активных элементов – транзисторов по технологии рНЕМТ-0,25, полупроводниковых резисторов в n+-слое арсенида галлия и микрополосковых линий по тонкопленочной технологии.

На рисунке 2 представлен габаритный чертеж модуля М44228 изготовленного в бескорпусном исполнении в виде кристалла ("чип") с приемкой "5" с диапазоном рабочих частот от 0,01 ГГц до 20 ГГц. Электрические параметры модуля М44228 при приемке и поставке указаны в таблице 2.

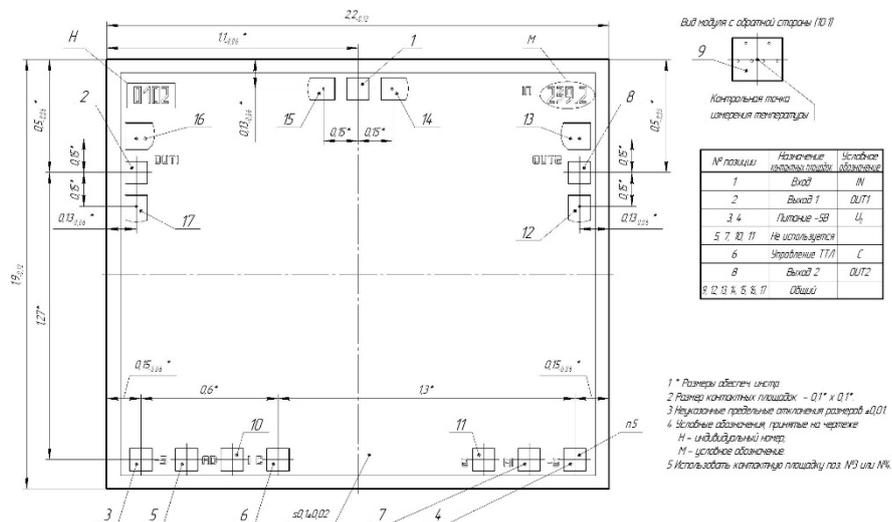


Рисунок 2. Внешний вид модуля М44228 (приемка "5"), габаритный чертеж.

В качестве конструктивного исполнения для удобства применения СВЧ переключателя в аппаратуре кристалл был смонтирован в безвыводной металлокерамическом корпусе 4x4 мм типа QFN, предназначенный для поверхностного монтажа. Монтаж кристалла в корпус осуществлялся методом склеивания с помощью токопроводящего клея с теплопроводностью не менее 60 Вт/(м·К), с температурой сушки клея не более 180 °С. Присоединение проволочных соединений произведено методом ультразвуковой сварки при температуре не более 170 °С. В качестве

проволочного соединения используется проволока Зл99,99 Т 0,02 ГОСТ 7222-2014.

Новое конструктивное исполнение СВЧ переключателя получило наименование А5.239-К4. Габаритный чертеж модуля А5.239-К4 с приемкой "1" представлен на рисунке 3. Диапазон рабочих частот модуля А5.239-К4 от 0,01 ГГц до 10 ГГц. Электрические параметры модуля А5.239-К4 при приемке и поставке указаны в таблице 2. Монтаж модуля А5.239-К4 осуществляется методом пайки на печатную плату без дополнительного механического крепления.

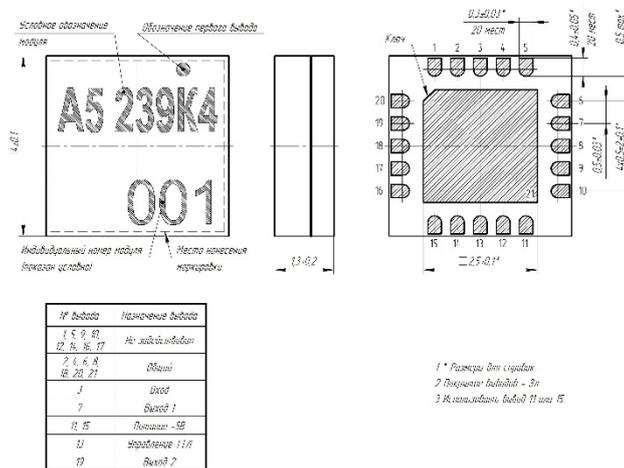


Рисунок 3. Внешний вид модуля А5.239-К4 (приемка "1"), габаритный чертеж.

Таблица 2. Электрические параметры модуля при приемке и поставке, при температуре окружающей среды $t = (25 \pm 10) ^\circ\text{C}$

Наименование параметра, единица измерения (режим измерения)	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра	
		не менее	не более
Прямые потери, дБ, [f = (0,01 – 10) ГГц]	$\alpha_{\text{пр}}$	–	2,0
[f = (10 – 20) ГГц]		–	4,3
Развязка между каналами, дБ, [f = (0,01 – 10) ГГц]	$\alpha_{\text{кан}}$	40	–
[f = (10 – 20) ГГц]		30	–
Время переключения, нс. По уровню 0,5 управляющего и выходного сигналов	$t_{\text{прк1}}$	–	40
Время переключения, нс. По уровню (0,1-0,9) выходного сигнала	$t_{\text{прк2}}$	–	40
Коэффициент стоячей волны по напряжению входа / выхода ед. [f = (0,01 – 10) ГГц]	$K_{\text{стУвх}}$	–	2,0 / 2,0
[f = (10 – 20) ГГц]		–	2,0 / 2,5
Верхняя граница линейности амплитудной характеристики по входу в диапазоне частот от 2 до 10 ГГц, мВт	$P_{\text{лин (вх)}}$	10	–
Ток потребления, мА	$I_{\text{пот}}$	–	10

Примечание - Напряжение питания $U_{\text{п}} = -5 \text{ В}$.

3. Заключение

В результате проведенной работы разработан твердотельный СВЧ переключатель со встроенным драйвером управления с одним СВЧ входом и двумя СВЧ выходами. СВЧ переключатель выполнен в бескорпусном исполнении в виде кристалла ("чип") с приемкой "5" и с приемкой "1" в корпусном исполнении в безвыводном металлокерамическом корпусе типа QFN, предназначенном для поверхностного монтажа. СВЧ переключатель разработан и изготовлен на отечественном предприятии ЗАО "НПП "Планета-Аргалл".

Список литературы

1. Торина Е. М., Кочемасов В. Н., Сафин А. Р. Транзисторы для твердотельных СВЧ-переключателей (обзор) // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2023. Т. 26, № 3. С. 6–31.
2. Березняк А.Ф., Коротков А.С. Синтез и реализация монолитных интегральных схем СВЧ-переключателей на основе GaAs рНЕМТтехнологии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2019. Т. 12. № 4. С. 84 - 96.
3. Коколов А. А., Бабак Л. И. Методика построения малосигнальной модели СВЧ-транзистора с высокой подвижностью электронов // Доклады ТУСУРа, № 2 (22), часть 1, декабрь 2010 С. 153–156.
4. Александров Р. Монолитные интегральные схемы СВЧ: взгляд изнутри // Компоненты и технологии. 2005, № 9, С. 174–182.