

**П.А. Повороженко, А.И. Лу, С.И. Толстолицкий,
В.В. Казачков, А.А. Фролова**
ФГУП «Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт
радиосвязи»

Твердотельный двухканальный переключатель Ka-диапазона на арсениде галлия

В работе представлены результаты разработки твердотельного двухканального широкополосного переключателя для диапазона 26 – 40 ГГц. Устройство изготовлено в виде монолитной интегральной схемы (МИС) на арсениде галлия. Достигнуты потери в открытом канале на уровне 2,0 дБ при изоляции закрытого канала не хуже 40 дБ.

Ключевые слова: двухканальный переключатель, Ka-диапазон, арсенид галлия, MESFET

При проектировании современных радиоэлектронных систем Ka-диапазона целесообразно использование твердотельных интегральных устройств на основе арсенида галлия, имеющих малые габариты, не требующих настройки и обеспечивающих высокое быстродействие. Минимальные значения паразитных параметров, высокая технологичность и воспроизводимость характеристик твердотельных устройств на арсениде галлия обеспечивают выполнение жестких требований к современным радиотехническим системам. Одним из наиболее важных функциональных узлов приемопередающих модулей является переключатель на два направления. Его параметры, такие как неравномерность АЧХ, неидентичность каналов, потери пропускания, изоляция и быстродействие во многом определяют работу системы в целом.

Целью исследования является разработка и изготовление монолитной интегральной схемы (МИС) двухканального переключателя Ka-диапазона на арсениде галлия.

Основная проблема при создании переключателя Ka-диапазона заключается в обеспечении высоких значений изоляции при сохранении низких значений потерь пропускания. Анализ существующих схем твердотельных переключателей показывает, что наилучшие характеристики в Ka-диапазоне обеспечивают схемы на рпн-диодах, однако, данные устройства потребляют большой ток по цепям управления. Переключатели на полевых транзисторах, работающие в Ka-диапазоне, построены на рНЕМТ-структурах [1] и не обеспечивают изоляцию выше 30 дБ при потерях порядка 2 дБ. При изготовлении подобных устройств используются технологии с проектными нормами 0,25 мкм и менее.

Для реализации переключателя выбрана схема на основе полевых транзисторов с затвором Шоттки (ПТШ), используемых в качестве коммутационных элементов [2,3]. Переключатель изготовлен на арсениде галлия по MESFET-технологии с проектной нормой 0,7 мкм, что позволяет избежать использования дорогостоящего технологического оборудования и существенно снижает стоимость изготавливаемых устройств. Для обеспечения малых потерь разработана схема, приведенная на рисунке 1. Малые потери в открытом канале обеспечиваются отсутствием последовательно

включенных транзисторов. Высокая изоляция закрытого канала при малом КСВН достигается фазовым подавлением проходящей и отраженной волны путем применения четырех секций, содержащих по паре шунтирующих полевых транзисторов и двух непарных транзисторов на выходе. Для выравнивания потенциала на истоках и стоках транзисторов использованы высокоомные резисторы (R1, R2), что приводит к дополнительному увеличению изоляции и повышает стабильность работы устройства.

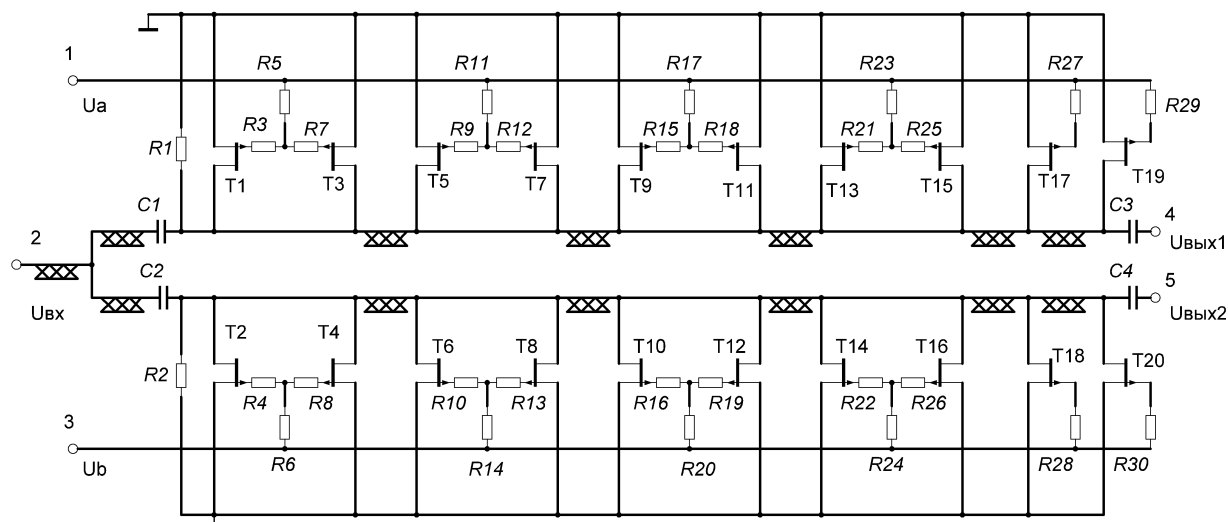


Рис. 1.

Устройство состоит из двух симметричных каналов, содержащих последовательно включенные коммутационные ячейки с гальванической развязкой по входу и выходу. Коммутация каналов переключателя осуществляется подачей управляющего напряжения (0/–5 В) на площадки U_a и U_b . В обоих каналах МИС переключателя на входе и выходе используются разделительные конденсаторы. Применение конденсаторов исключает необходимость использования дополнительных навесных элементов, что повышает степень интеграции устройства.

Отрезки микрополосковых линий передачи обеспечивают согласование устройства, понижая значения КСВН входа и выхода МИС переключателя. Каждая секция содержит транзисторы и отрезки высокоомных микрополосковых линий, которые компенсируют емкость шунтирующих транзисторов в открытом канале переключателя.

При проектировании МИС переключателя применялась разработанная ранее библиотека элементов, содержащая модели транзисторов, работающих в коммутационном режиме. Топологические ячейки строятся на базе коммутационных транзисторов с разной шириной затвора, что улучшает равномерность характеристик и снижает вносимые потери. Для обеспечения требуемых характеристик проводилась оптимизация в среде AWR Microwave Office.

Устройство изготовлено в виде монолитной интегральной схемы на одном кристалле по технологии, аналогичной [4]. Размер кристалла – $2,3 \times 2,5 \times 0,1 \text{ мм}^3$. Контактные площадки имеют размер $100 \times 100 \text{ мкм}^2$. Транзисторы имеют разную ширину затворов – 200 мкм (Т1 – Т4), 55 мкм (Т17, Т18), 46 мкм (Т5 – Т8), 35 мкм (Т9 – Т12) и 20 мкм (Т13 – Т16, Т19, Т20). Наибольшую ширину имеют транзисторы на входе

переключателя для обеспечения максимальной изоляции и развязки между каналами устройства. По обоим выходам переключателя установлены транзисторы с малой шириной затвора, что позволяет уменьшить потери в открытом канале. Длина затвора у всех транзисторов – 0,7 мкм. Межэлектродное расстояние исток – сток выбрано равным 3,6 мкм.

МИС переключателя изготовлена на эпитаксиальной структуре арсенида галлия с концентрацией носителей в n-слое $3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Сквозные металлизированные отверстия служат для снижения индуктивности заземляющих выводов. В качестве диэлектрика использован нитрид кремния. Затворы транзисторов формировались вакуумным напылением золота с подслоем титана методом взрывной литографии. Разводка получена вакуумным напылением золота с подслоем титана, после чего сверху был гальванически осажден слой золота. Омические контакты получены вакуумным напылением слоев металлов GeAu/Ni/Au.

Измерения характеристик МИС переключателей проводились в диапазоне 26 – 40 ГГц на векторном анализаторе цепей Agilent PNA-X N5244A. На устройство подавались управляющие напряжения 0/5 В. На рисунках 2 – 5 приведены результаты измерений S-параметров по ансамблю изготовленных экспериментальных образцов. Штриховой линией показаны результаты расчетов, сплошными линиями – экспериментальные данные.

На рисунке 2 приведены результаты измерений потерь пропускания в открытом состоянии в диапазоне 26 – 40 ГГц.

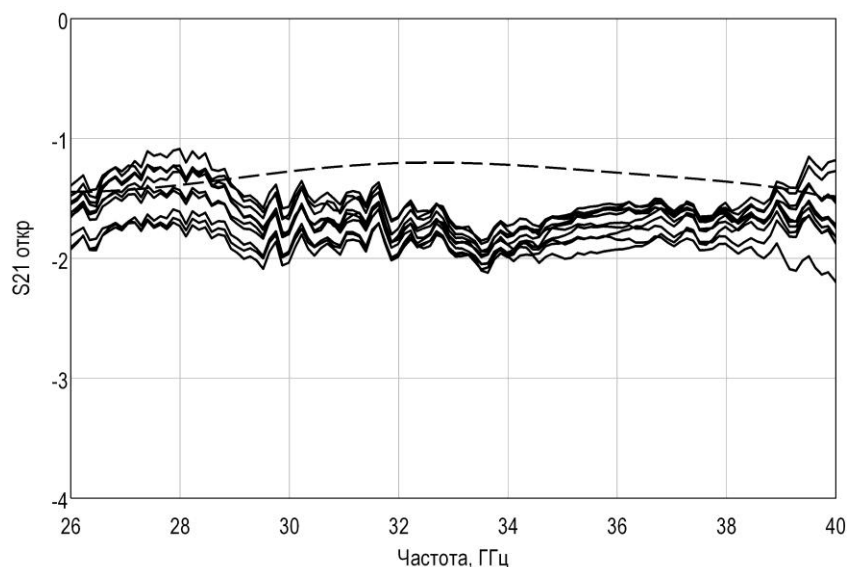


Рис. 2.

Потери пропускания составили не более 2,0 дБ во всем диапазоне частот. Коэффициент передачи в открытом канале слабо зависит от частоты в рабочем диапазоне. Неравномерность коэффициента передачи в открытом канале – не более 1 дБ.

Изоляция обоих каналов переключателя в закрытом состоянии представлена на рисунке 3.

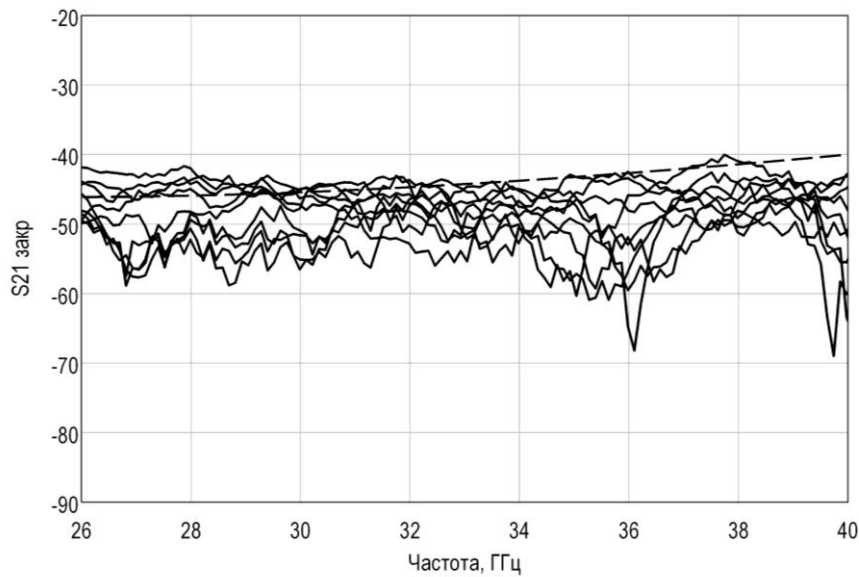


Рис. 3.

Открытый канал оказывает незначительное влияние на закрытый канал. Коэффициент передачи закрытых каналов не хуже 40 дБ. Результаты измерений изоляции обоих каналов близки к расчетным.

На рисунках 4, 5 приведены зависимости КСВН переключателя от частоты по входу и выходу соответственно. КСВН во всей полосе рабочих частот не хуже 2,2. При этом в диапазоне частот от 30 до 40 ГГц КСВН входа не превышает 1,5.

Анализ экспериментальных результатов показывает, что характеристики разработанной монолитной интегральной схемы переключателя устойчивы по отношению к технологическому разбросу параметров в процессе изготовления.

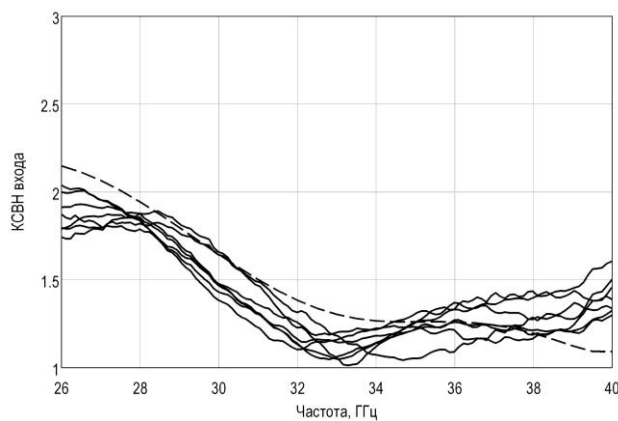


Рис. 4.

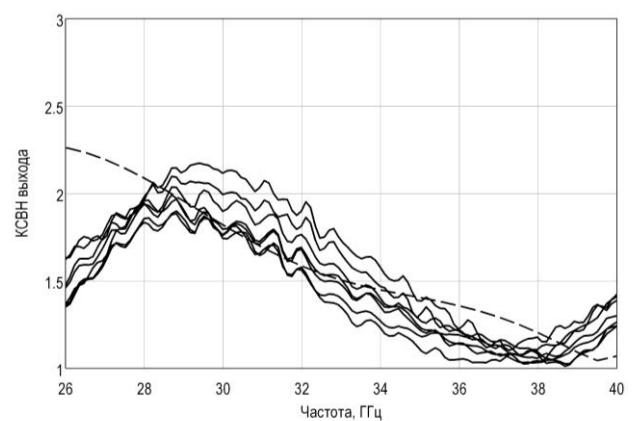


Рис. 5.

Выводы

Разработана монолитная интегральная схема переключателя на два направления для Ka-диапазона, изготовленная по технологии MESFET с проектными нормами 0,7 мкм. Получены низкие потери пропускания (не хуже 2,0 дБ) и высокие значения изоляции (не менее 40 дБ) при неравномерности потерь пропускания во всем диапазоне на уровне 1дБ. КСВН во всей полосе рабочих частот не хуже 2,2.

Библиографический список

1. A Miniature DC-to-50 GHz CMOS SPDT Distributed Switch / Mei-Chao Yeh, Zuo-Min Tsai and Huei Wang. 13th GaAs Symposium – Paris, 2005
2. А.К. Балыко, М. А. Богданов, В.И. Васильев, А.В. Климова, В.Г. Лапин, А.М. Темнов, Н.И. Юсупова. Проектирование монолитного двухканального переключателя СВЧ // Радиотехника №2–2004. – С. 40-43.
3. RFIC and MMIC design and technology / Edited by Robertson I.D., Lucyszyn S.– The Institution of Electrical Engineers – 2009. – P. 347 – 358.
4. Толстолицкий С.И., Попов, М.А., Толстолицкая А.В., Ли А И., Казачков В.В, Комор В.П. Твердотельный двухканальный СВЧ-переключатель на арсениде галлия для диапазона 0–6 ГГц // 16-я Международная Крымская Конференция «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии».– Севастополь, 11-15 сентября 2006г.: Материалы конференции в 2 т. – 2006. – С. 197-198.