

УДК 621.382

А.Ю. ЮЩЕНКО*, Г.И. АЙЗЕНШТАТ*, Е.А. МОНАСТЫРЕВ*, В.Г. БОЖКОВ*, А.И. ИВАЩЕНКО*,
В.В. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ**

МОНОЛИТНАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМА МОЩНОГО ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ ПРИЕМ – ПЕРЕДАЧА С ЗАЩИТОЙ ПРИЕМНОГО КАНАЛА ДЛЯ X-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ pin-ДИОДОВ

Представлены результаты разработки оригинальной монолитной интегральной схемы мощного переключателя прием – передача с защитой приемного канала для X-диапазона частот на основе pin-диодов.

Ключевые слова: монолитная интегральная схема, переключатель прием – передача, pin-диод, защитное устройство.

Введение

Неотъемлемым элементом приемно-передающего модуля (ППМ) является устройство, коммутирующее входной/выходной сигналы с антенной. Основными параметрами этих устройств являются вносимые потери при приеме/передаче, развязка между каналами и уровень передаваемой мощности. Для этой цели используют циркуляторы, которые являются пассивными устройствами и не нуждаются в управлении. Однако при переходе к современным технологиям создания ППМ на основе *LTCC*-керамики использование циркуляторов затруднено из-за достаточно больших размеров.

Для создания планарных ППМ АФАР см-диапазона на базе технологии *LTCC*-керамики [1] решалась задача разработки монолитно интегральных схем (МИС) переключателей прием-передача с коммутируемой мощностью передающего канала не менее 10 Вт. Аналогом такой схемы можно считать GaN МИС TGS2352 и TGS2353, коммутирующие мощности 20 и 10 Вт соответственно. Вносимые потери этих схем в X-диапазоне не превышают 1 дБ при развязке между каналами 30–35 дБ. Основным недостатком данных схем является высокое напряжение управления, которое составляет -40 В. Отечественные аналоги неизвестны.

2. Схема переключателя прием – передача с защитой приемного канала

Для реализации переключателя прием – передача была предложена оригинальная конструкция (защищенная патентом), дополнительно включающая в себя ограничитель СВЧ-мощности в приемном канале устройства, что позволило минимизировать вносимые потери в приемном тракте ППМ. На рис. 1 схематично представлена конструкция переключателя.

Отличительной особенностью данной схемы является наличие ограничителя СВЧ-мощности в приемном канале, причем можно использовать как пассивный ограничитель [2, 3], так и ограничитель мощности, управляемый напряжением [4]. В первом случае запираение приемного канала в режиме передачи ППМ будет осуществляться за счет ответвления небольшой части передаваемой мощности от антенны к ограничителю. В данном рабочем режиме на вход приемного канала будет просачиваться мощность, уровень которой определяется характеристиками ограничителя. В случае использования управляемого ограничителя можно достичь большего уровня развязки приемного канала и антенны. В режиме приема ППМ обеспечивается защита приемного канала с помощью ограничителя мощности.

Наиболее подходящей технологией для создания МИС предложенной конструкции является pin-диодная технология. В работе использовалась разработанная технология создания МИС: на

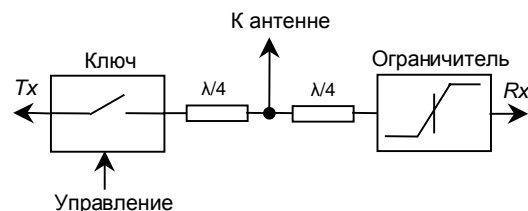


Рис. 1. Структурная схема переключателя прием – передача с защитой приемного канала

основе диодов с пробивными напряжениями до 60 В, поскольку при коммутации сигнала мощностью 10 Вт максимальные напряжения схемы могут достигать 45 В. На рис. 2 представлена фотография разработанной МИС X-диапазона частот.

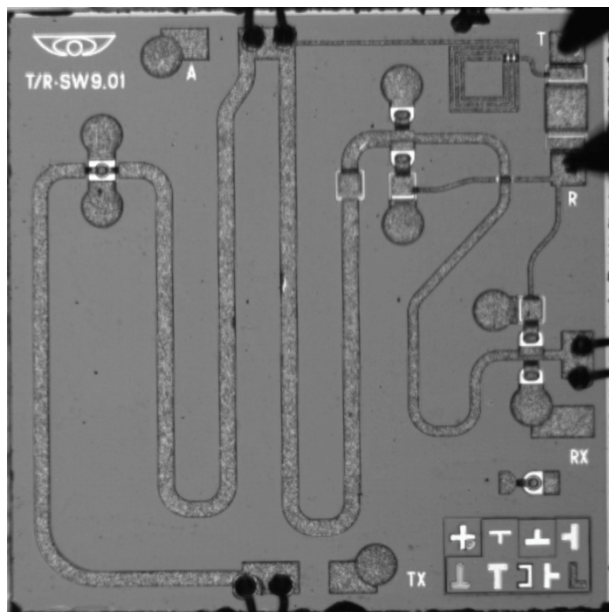


Рис. 2. Фотография МИС-переключателя прием – передача с защитой приемного канала

Полное запирающее плечо (Tx) переключателя в режиме приема достигается при управляющем токе 5 – 10 мА. Для передачи высокой мощности 10–15 Вт от усилителя в антенну на управляющий электрод «Т» необходимо подать смещение 23–28 В. Передающий канал также может работать и в режиме «детектирования», т.е. без приложения внешнего смещения. Для этого необходимо отключение данного канала через вспомогательный драйвер с высоким выходным сопротивлением.

Независимо от режимов управления, разработанная МИС характеризуется превосходными параметрами.

На рис. 3 представлены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) МИС для предложенного режима управления.

В диапазоне частот 8,5–10,5 ГГц разработанная МИС характеризуется низкими вносимыми потерями приемного и передающего каналов (не более 0,75 дБ) хорошим согласованием входа/выхода (не хуже –15 дБ) и высокими значениями развязки. Передаваемая мощность при уменьшении коэффициента передачи на 1 дБ составляет 15 Вт. Максимальная непрерывная входная мощность (сигнал помехи) не менее 5 Вт, мощность просачивания ограничителя не более 60 мВт, что полностью подходит для МИС МШУ, созданной в ОАО «НИИПП». Схема может работать в более широком диапазоне частот с некоторым ухудшением параметров. Разработанная МИС значительно превосходит GaN МИС TGS2352/TGS2353 и не имеет прямых аналогов в мире.

С использованием предложенной схемы (рис. 1) и монолитной интегральной технологии можно получать МИС с более высокими рабочими частотами. При разработке более низкочастотных устройств, например

Для уменьшения вносимых потерь МИС в конструкцию схемы не были включены разделительные входные конденсаторы, которые и так присутствуют в большинстве современных монолитных малошумящих и мощных усилителей. Размеры кристалла 1,95×1,95×0,1 мм.

Приемный и передающий каналы разработанной МИС могут управляться различными способами. В приемном канале «Rx» (рис. 2) встроен ограничитель мощности, управляемый напряжением. Для открытия канала в режиме приема на управляющий электрод «R» необходимо подать напряжение 0–1,4 В, в зависимости от необходимого уровня помехоустойчивости [4]. Для полного запирающего канала (режим передачи) на электрод «R» необходимо подать напряжение ≈ 2,4 В, что соответствует току управления 10 мА. При замыкании управляющего вывода «R» на землю получим пассивный ограничитель мощности, при этом, как отмечалось выше, не потребуется внешнее управление приемным каналом.

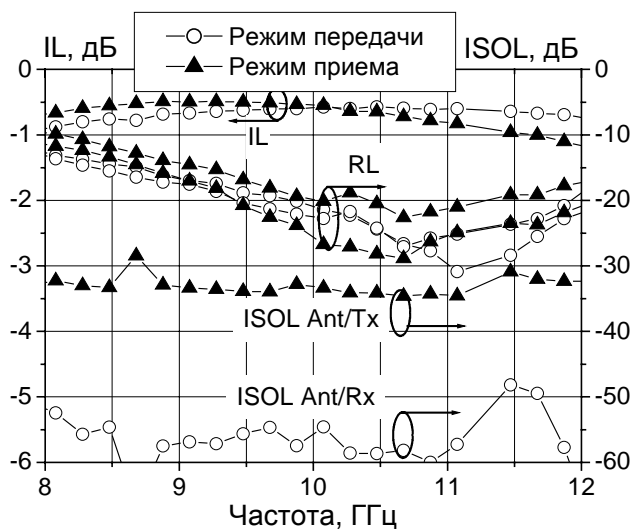


Рис. 3. АЧХ разработанной МИС переключателя прием – передача

L -, S - и C -диапазонов, лучше применять гибридную технологию, вследствие слишком больших длин четвертьволновых отрезков микрополосковых линий. В таблице представлены оптимальные режимы управления схемы, позволяющие максимально использовать преимущества разработанной схемы.

Оптимальные режимы управления схемы

Режим работы	Управление	
	T	R
Прием	1,3 В; 10 мА	0 В
Передача	Большое сопротивление на «землю»	2,5 В; 10 мА

Выводы

Разработана оригинальная монолитная интегральная схема мощного переключателя прием – передача с защитой приемного канала. Схема изготовлена в технологическом отделе кристаллов ОАО «НИИПП» с использованием отечественного полупроводникового материала, выращенного в ИФП СО РАН (г. Новосибирск) и ЗАО «Элма-Малахит» (г. Зеленоград). Изделие характеризуется превосходными параметрами и не имеет прямых аналогов в мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монастырев Е.А., Кеврух С.Л., Молошников В.А. и др. // 21-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2011. – С. 195–197.
2. Ющенко А.Ю., Айзенштат Г.И., Монастырев Е.А. и др. // Изв. вузов. Физика. – 2010. – Т. 53. – №. 9/2. – С. 315–319.
3. Ющенко А.Ю., Айзенштат Г.И., Монастырев Е.А. и др. // 21-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2011. – С. 163–164.
4. Ющенко А.Ю., Айзенштат Г.И., Монастырев Е.А., Акимов А.В. // 21-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии»: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2011. – С. 167–168.

*Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов,
г. Томск, Россия

Поступила в редакцию 20.07.12.

**Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия
E-mail: auzen@mail.tomsknet.ru

Ющенко Алексей Юрьевич, к.т.н., нач. лаборатории;
Айзенштат Геннадий Исаакович, д.т.н., гл. науч. сотр.;
Монастырев Евгений Александрович, нач. отдела;
Божков Владимир Григорьевич, д.т.н., нач. отдела;
Ивашенко Анна Ивановна, ст. инженер;
Преображенский Валерий Владимирович, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.