УДК 621.382.2/3

А.А. Баров, А.В. Кондратенко, Д.С. Хохол

GaAs МИС дискретного фазовращателя L-диапазона частот

Представлены результаты разработки монолитной интегральной схемы 6-разрядного фазовращателя, выполненного на основе 0,25 мкм GaAs pHEMT-технологии 3AO «НПФ «Микран». Полоса рабочих частот 1,2–1,4 ГГц, диапазон вносимого фазового сдвига 355°, номинальный шаг вносимого фазового сдвига 5,6°, вносимые потери в опорном состоянии не более 7,5 дБ, паразитная амплитудная конверсия менее ±0,5 дБ, возвратные потери по входу/выходу не менее 15 дБ, тип сигналов управления – уровни ТТЛ.

Ключевые слова: монолитная интегральная схема, дискретный фазовращатель, полевой транзистор с барьером Шоттки, драйвер управления, вносимый фазовый сдвиг.

Одним из основных функциональных узлов приемопередающих модулей АФАР являются электрически управляемые фазовращатели. Применение дискретно-коммутационного способа управления (в сравнении с аналоговым способом) позволяет значительно уменьшить влияние временных и температурных нестабильностей полупроводниковых элементов и управляющих сигналов на фазовые характеристики. В данном случае стабильность устройства определяется стабильностью параметров пассивных элементов, задающих требуемый фазовый сдвиг, а влияние управляющих ключевых элементов в ряде случаев пренебрежимо мало [1].

В случае реализации фазовращателя в виде монолитной интегральной схемы (МИС) актуальным становится вопрос сопряжения управления с цифровой логикой. С этой целью в состав МИС включают драйвер управления либо гальванически смещают общий потенциал схемы на величину «высокого уровня» внешнего управляющего сигнала. Каждое схемное решение имеет свои преимущества и недостатки. Схемы со смещением потенциала принципиально просты, но ограничены по применению в нижнем диапазоне частот СВЧ и, как правило, требуют парафазных сигналов управления, что в конечном итоге усложняет трассировку схемы с многоразрядными МИС. Включение драйвера управления в состав МИС повышает ее интеграцию, что может стать причиной уменьшения выхода годных, но решает проблему сопряжения уровней управления и формирования по месту дополнительного парафазного сигнала управления [2].

В статье представлены результаты разработки МИС 6-разрядного фазовращателя с интегрированным драйвером управления, предназначенной для применения в составе приемопередающей аппаратуры, производимой НПФ «Микран».

МИС фазовращателя содержит в своем составе шесть секций с номинальным вносимым фазовым сдвигом: 5,6; 11,2; 22,5; 45; 90 и 180°. В качестве коммутационных элементов в схеме фазовращателя выступают нормально открытые полевые транзисторы с затвором Шоттки (ПТШ), работающие в режиме управляемого сопротивления канала. Эквивалентные схемы всех секций приведены на рис. 1.



Секции «45°» и «90°» выполнены на основе коммутируемых звеньев ФВЧ и ФНЧ третьего порядка. Основным достоинством данного схемного решения являются малая неравномерность вносимого фазового сдвига в рабочей полосе частот, а также низкая чувствительность ключевых параметров (вносимого фазового сдвига и паразитной амплитудной конверсии) к технологическим вариациям параметров коммутационных элементов. Основной недостаток данного схемного решения – высокие начальные потери, обусловленные наличием коммутаторов на входе/выходе секции, в сравнении с другими реализациями. Секция «180°» также выполнена на основе коммутируемых ФВЧ и ФНЧ, однако порядок звеньев повышен до пятого для уменьшения неравномерности вносимого фазового сдвига, а также минимизации паразитной амплитудной конверсии на границах рабочего диапазона частот.

В секциях «5,6°» и «11,2°» коммутация производится между «вырожденными» ФВЧ- и ФНЧконденсатором и катушкой индуктивности соответственно. Благодаря такому схемному решению удалось снизить вносимые потери в данных секциях. В секции «22,5°» коммутационные элементы являются составными частями фазосдвигающих цепей [3]. Данное решение является компромиссным по таким показателям, как чувствительность ключевых электрических параметров к технологическому разбросу параметров активных элементов, уровень начальных потерь и габаритные размеры секции.

Функциональная схема МИС фазовращателя, а также эскиз топологии приведены на рис. 2. Габаритные размеры кристалла составляют 3,0×3,5×0,1 мм.



Рис. 2. Функциональная схема фазовращателя и эскиз топологии МИС

Порядок каскадного включения секций определялся исходя из требований максимизации линейной входной мощности и минимизации взаимного влияния секций (минимизации ошибки вносимого фазового сдвига и паразитной амплитудной конверсии).

Для возможности управления фазовращателем посредством цифровой логикой стандарта ТТЛ на кристалл интегрирован драйвер управления, ячейки которого выполнены на основе дифференциального каскада и требуют одного напряжения питания отрицательной полярности. Управление осуществляется параллельным кодом.

Расчет схемы и разработка топологии проводились с использованием системы автоматизированного проектирования Advanced Design System компании Agilent Technologies, библиотеки моделей 0,25um Power pHEMT, разработанной сотрудниками дизайн-центра НПФ «Микран», а также экспериментальных результатов измерения параметров рассеяния тестовых элементов. Измерения проводились в НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУРа.

На рис. 3 и 4 представлены частотные зависимости абсолютной ошибки вносимого фазового сдвига для основных состояний фазовращателя и коэффициента передачи соответственно. Из графиков видно, что в рабочем диапазоне частот абсолютная фазовая ошибка менее 1°, а паразитная амплитудная конверсия при переключении основных состояний менее ±0,5 дБ. Основные электрические параметры разработанной МИС фазовращателя приведены в таблице.



Рис. 3. Частотная зависимость ошибки вносимого фазового сдвига для основных состояний



ис. 4. Частотная зависимость коэффициента передачи для основны состояний

В результате проделанной работы была разработана МИС фазовращателя *L*-диапазона часна основе GaAs тот рНЕМТ. В настоящее вреэкспериментальные МЯ пластины с кристаллами фазовращателя находятся на этапе изготовления на технологической линии ЗАО «НПФ «Микран». Перспективными направлениями продолжения работы над данной МИС являются оптимизация схемотехнической реализации драйвера управления для уменьшения тока потребления и корпусирование МИС для возможности ее применения в устройствах, выполненных с применением технологии навесного монтажа.

Работа выполнена при финансовой поддержке по договору №13.G25.31.0011 между ЗАО «НПФ «Микран» и Министерством образования и науки РФ по Постановлению №218 Правительства РФ.

Основные электрические параметры МИС фазовращателя

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц	1,2–1,4
Диапазон вносимого фазового сдвига, град	355
Шаг вносимого фазового сдвига, град	5,6
Абсолютная ошибка фазового сдвига (для основных состояний), град, не более	1,0
Вносимые потери в опорном состоянии, дБ, не более	7,5
Паразитная амплитудная конверсия, дБ, не более	±0,5
Возвратные потери по входу / выходу, дБ, не менее	15
Номинальное напряжение питания драйвера, В	-7,5
Ток потребления, мА, не более	12
Тип сигналов управления	Уровни ТТЛ

Литература

1. Данилин В.Н. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ / В.Н. Данилин, А.И. Кушниренко, Г.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1985. – 192 с.

2. Аржанов С.Н. СВЧ GaAs МИС дискретных фазовращателей С-диапазона со встроенным драйвером управления / С.Н. Аржанов, В.С. Арыков, А.А. Баров и др. // Сб. трудов 18-й Междунар.

Крым. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: Вебер, 2008. – Т. 1. – С. 65–66.

3. Moye C. A compact broadband, six-bit MMIC phasor with integrated digital drivers / C. Moye, G. Sakamoto, M. Brand // IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium. – 1990. May. – Digest of papers. – P. 123–126.

Баров Александр Анатольевич

Ведущий инженер ЗАО «НПФ «Микран», г. Томск Тел.: (8-382-2) 41-34-03, 8-913-858-19-73 Эл. почта: a_barov@micran.ru

Кондратенко Алексей Владимирович Инженер ЗАО «НПФ «Микран»,

Тел.: (8-382-2) 41-34-03, 8-913-855-02-02 Эл. почта: alkon@micran.ru

Хохол Дмитрий Сергеевич

Инженер ЗАО «НПФ «Микран» Тел.: (8-382-2) 41-34-03, 8-952-894-66-72 Эл. почта: hohol@micran.ru

Barov A.A., Kondratenko A.V., Hohol D.S. L-band GaAs MMIC digital phase shifter

The results of design of GaAs pHEMT MMIC six-bit phase shifter with integrated control logic are presented. Operating frequency band is 1.2–1.4 GHz; insertion phase range is 355° ; insertion phase step is 5.6° ; insertion loss at reference state is less 7.5 dB; insertion loss variation is ±0.5 dB; input/output return loss is more 15 dB. **Keywords:** monolithic integrated circuit, digital phase shifter, MESFET, control logic, insertion phase shift.