УДК 621.382.2/3

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

GaAs MUC 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 НП Φ «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.

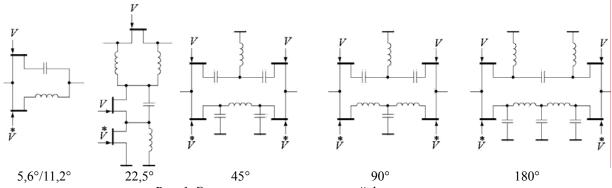


Рис. 1. Эквивалентные схемы секций фазовращателя

Секции «45°» и «90°» выполнены на основе коммутируемых звеньев ФВЧ и ФНЧ третьего порядка. Основным достоинством данного схемного решения являются малая неравномерность вно-

симого 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 ФНЧ-конденсатором 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 $3,0 \times 3,5 \times 0,1$ мм.

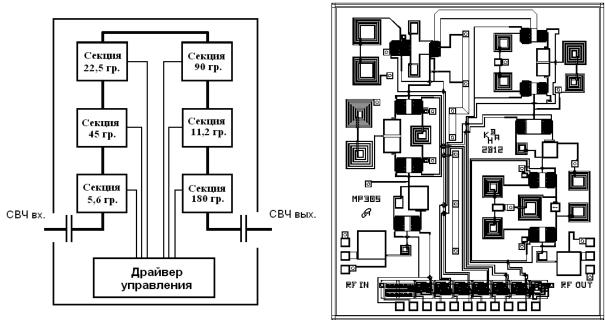


Рис. 2. Функциональная схема фазовращателя и эскиз топологии МИС

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. З 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 $\pm 0,5$ дБ. Основные электрические параметры разработанной МИС фазовращателя приведены в таблице.

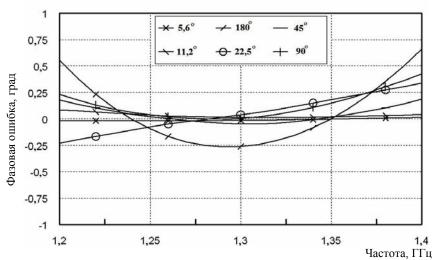


Рис. 3. Частотная зависимость ошибки вносимого фазового сдвига для основных состояний

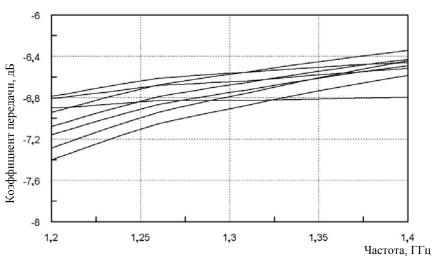


Рис. 4. Частотная зависимость коэффициента передачи для основных состояний

В результате проделанной работы была разработана МИС фазовращателя L-диапазона часна основе GaAs рНЕМТ. В настоящее вреэкспериментальные 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 MИС 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.