

УДК 621.382.2/3

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

GaAs МИС управляемого СВЧ-аттенюатора диапазона 0–20 ГГц

Представлены результаты разработки монолитной интегральной схемы электрически управляемого СВЧ-аттенюатора, выполненного по GaAs-pHEMT-технологии. Полоса рабочих частот 0–20 ГГц, начальные вносимые потери 2,2 дБ на частоте 20 ГГц, диапазон вносимых ослаблений 27 дБ, возвратные потери по входу/выходу не менее 15 дБ. Сигнал управления – аналоговое напряжение от минус 3 до 0 В.

Ключевые слова: монолитная интегральная схема, управляемый аттенюатор, полевой транзистор с затвором Шоттки, частотная характеристика.

Широкополосные аттенюаторы, управляемые напряжением, широко используются в системах автоматической регулировки усиления (АРУ), а также в усилителях для температурной стабилизации коэффициента усиления [1]. Реализация подобных устройств в виде монолитных интегральных схем (МИС) позволяет повысить их надежность, а также существенно уменьшить габаритные размеры и стоимость. В статье представлены результаты разработки СВЧ-аттенюатора на полевых транзисторах с затвором Шоттки (ПТШ), управляемого аналоговым напряжением.

На рис. 1 представлена эквивалентная схема СВЧ-аттенюатора, в которой ПТШ VT1–VT4 работают в режиме управляемого сопротивления канала.

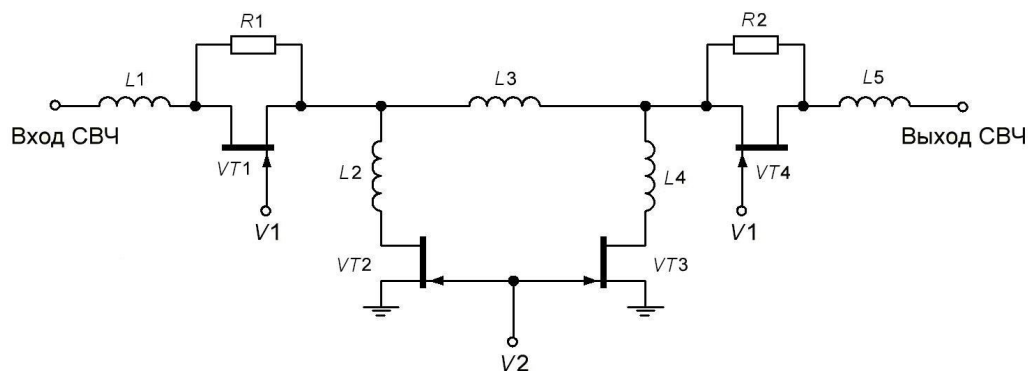


Рис. 1. Эквивалентная схема управляемого СВЧ-аттенюатора

Резисторы $R1$ и $R2$ обеспечивают согласование входа и выхода аттенюатора при работе в режиме больших ослаблений, а также линеаризуют закон изменения сопротивления последовательного плеча при работе в режиме большого сигнала [2]. Высокоомные отрезки линий на входе и выходе аттенюатора, которые на эквивалентной схеме представлены в виде индуктивностей $L1$ и $L5$, служат для улучшения согласования. Индуктивность $L3$ в режиме минимально вносимых ослаблений совместно с паразитными емкостями закрытых транзисторов $VT2$ и $VT3$ образуют П-образное звено ФНЧ, что позволяет снизить неравномерность коэффициента передачи в рабочей полосе частот. В режиме максимально вносимых ослаблений данная индуктивность компенсирует влияние паразитных емкостей закрытых транзисторов $VT1$ и $VT4$, увеличивая вносимые ослабления в диапазоне верхних частот. Высокоомные отрезки линий, которые на эквивалентной схеме представлены в виде индуктивностей $L2$ и $L4$, служат для коррекции неравномерности коэффициента передачи в режиме максимально вносимых ослаблений.

Из рис. 1 видно, что для работы схемы необходимо иметь два различных управляющих сигнала для последовательно и параллельно включенных транзисторов. На практике, как правило, применяются специальные схемы на операционных усилителях, обеспечивающие линейную зависимость ослабления от одного управляющего напряжения [3]. На рис. 2 приведена одна из возможных реализаций схемы управления.

Принцип работы схемы управления заключается в использовании дополнительного – опорного аттенюатора в качестве датчика для выработки второго управляющего сигнала. Опорный аттенюатор своими сигнальными выводами включается в одно из плеч резистивного моста, к диагонали которого подключается операционный усилитель.

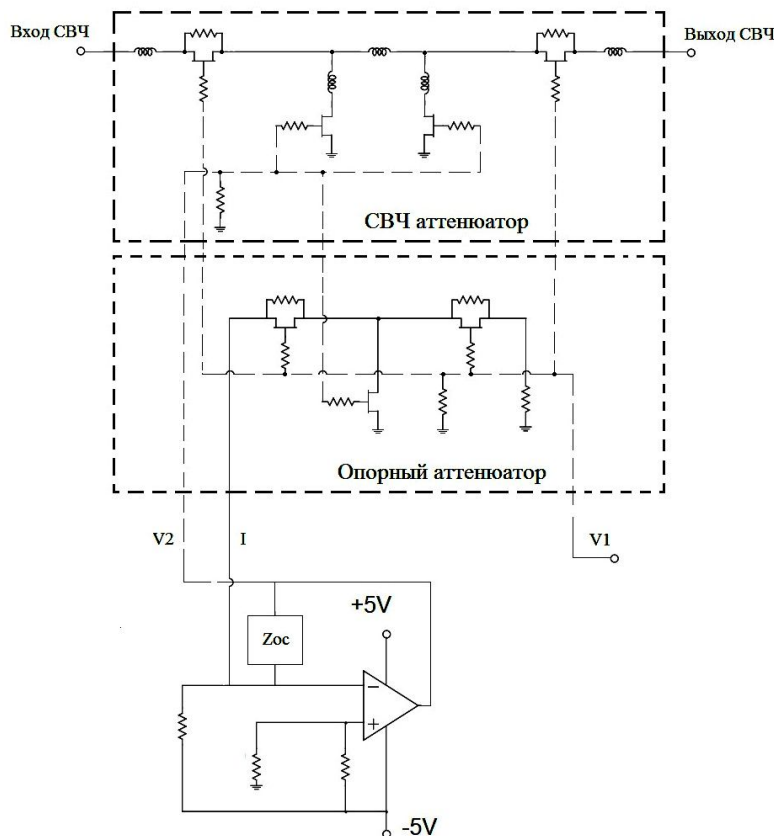


Рис. 2. Реализация схемы управления СВЧ-аттенуатором

уровне входной мощности, минимизации неравномерности коэффициента передачи и реализации согласования по входу и выходу.

На рис. 3 представлены расчетные частотные зависимости модулей коэффициента передачи (КП) и коэффициента отражения (КО) в режиме минимально и максимально вносимых ослаблений.

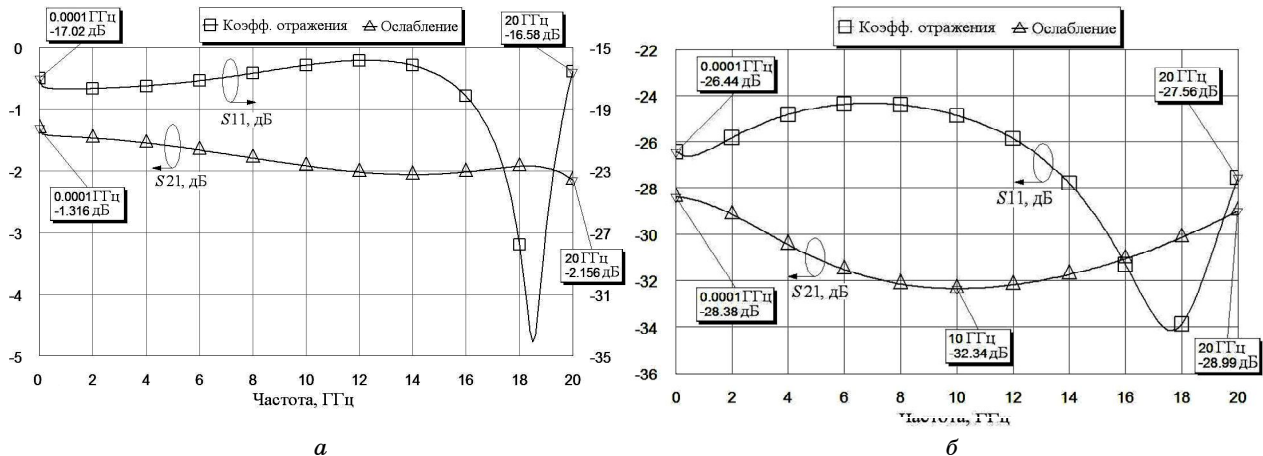


Рис. 3. Частотные зависимости модулей КП и КО:

a – режим минимального ослабления; *б* – режим максимального ослабления

Основные электрические параметры разработанного устройства представлены в таблице.

На рис. 4 представлена топология МИС, в состав которой входят основной и опорный аттенуаторы. Размер кристалла $1 \times 1 \times 0,1$ мм.

Основные электрические параметры аттенуатора	
Наименование параметра	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц	0...20
Начальные потери, дБ, не более	2,2
Неравномерность КП, дБ, не более:	
– в режиме минимально вносимых ослаблений	1
– в режиме максимально вносимых ослаблений	4
Диапазон вносимых ослаблений, дБ	27
КО от входа / выхода, дБ, не более	-15
Допустимая входная мощность, дБм	15

Благодаря дифференциальному подключению операционного усилителя и наличию двухполярного напряжения питания, усилитель отслеживает разбаланс резистивного моста, вызванный изменением первого управляющего сигнала или температурой окружающей среды. При включении опорного и основного аттенуаторов параллельно по управляющим входам реализуется схема с одним управляющим сигналом.

При расчете аттенуатора использовалась масштабированная модель транзистора в режиме коммутации, восстановленная по экспериментальным результатам измерения параметров тестовых транзисторов, изготовленных на пилотной линии ЗАО «НПФ Микран». Суммарная ширина затвора каждого транзистора выбиралась исходя из требований работоспособности при заданном

Заключение

Отсутствие нелинейной модели транзистора привело к тому, что анализ работы аттенюатора производился косвенным путем с использованием линейных эквивалентных схем транзисторов в открытом и закрытом состоянии. Данный подход позволяет произвести оценку характеристик только в режимах минимального и максимального вносимого ослабления. Следующим этапом работы будет производство опытных образцов микросхем и исследование основных параметров во всем диапазоне управляющих напряжений. Параллельно ведется восстановление масштабируемой нелинейной модели переключательного транзистора.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с договором № 74/10 от 15.07.2010 в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

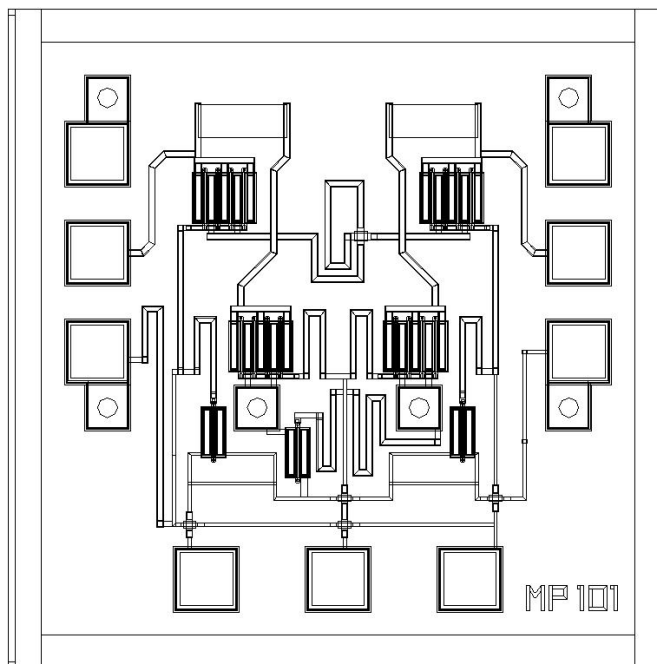


Рис. 4. Топология МИС аттенюатора

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. Kondoh H. DC-50 GHz variable attenuator with a 30 dB dynamic range // MTT-S Int. Microwave Symp. Dig. – 1988. – Vol. 1. – P. 499–502.
3. Tajima Y. GaAs monolithic wide-band (2-18 GHz) variable attenuators / Y. Tajima, T. Tsukii, R. Mozzi et al. // MTT-S Int. Microwave Symp. Dig. – 1982. – P. 479–481.

Баров Александр Анатольевич

Ведущий инженер ЗАО «НПФ «Микран», г. Томск
Тел.: (8-382-2) 41-34-03, 8-913-858-1973
Эл. почта: a_barov@micran.ru

Кондратенко Алексей Владимирович

Инженер ЗАО «НПФ «Микран», г. Томск
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.
DC-20 GHz GaAs MMIC variable attenuator

The results of design of GaAs pHEMT MMIC variable attenuator are presented. Operating frequency band is DC – 20 GHz, reference insertion loss is 2,2 dB at 20 GHz, attenuation band is 27 dB, input / output return loss is better than 15 dB. Control signal is analog voltage - 3 V...0 V.

Keywords: monolithic integrated circuit, variable attenuator, MESFET, frequency response.