

УДК 621.372.852.1: 621.372.5

К. т. н. Э. Н. ГЛУШЕЧЕНКО

Украина, г. Киев, НПП «Сатурн»

E-mail: gen-nto@ukr.net

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПОЛОСКОВЫХ УСТРОЙСТВ С РЕЗОНАТОРАМИ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Рассмотрены недостатки известных СВЧ-фильтров на микрополосковых линиях, показаны преимущества использования направленных фильтров бегущей волны в микрополосковом исполнении и примеры их перспективного применения.

Ключевые слова: СВЧ-устройства, микрополосковая линия, кольцевой резонатор, бегущая волна, направленный ответвитель, фильтр.

В период экономического кризиса выделение бюджетных средств на проведение НИОКР весьма проблематично. Такое положение дел характерно не только для Украины, но и для большинства платежеспособных, экономически развитых и стабильных государств, включая страны Европы и США. Именно поэтому Европейское оборонное агентство и аналогичная структура США, понимая необходимость стимулирования научно-технической деятельности большинства оборонных предприятий в мире для обеспечения современных радиолокационных систем, ракетных комплексов, систем связи, электронной борьбы и электронной разведки, подготовили обзор наиболее перспективных направлений развития СВЧ- и ВЧ-техники [1].

Обозначенные в обзоре тенденции развития СВЧ- и ВЧ-техники для обороны отражают точку зрения широкой группы технических экспертов наиболее развитых стран (США, ЕС, Россия, Китай и Израиль) и могут рассматриваться в качестве основных тенденций развития радиоэлектронной отрасли.

В соответствии с этими тенденциями исследования, направленные на развитие новейших (упреждающих) технологий, должны быть сконцентрированы на вопросах разработки определяющих компонентов (в том числе — фильтров), и на это следует направить основные инвестиции.

Рассматриваемые в данной работе приборы — микрополосковые устройства с кольцевыми резонаторами бегущей волны, к которым относятся и микрополосковый направленный фильтр бегущей волны, представляют одно из предложенных перспективных направлений развития СВЧ-техники.

Преимущества и особенности устройств на основе МНФБВ

Применение микрополосковых линий (МПЛ) передачи для реализации направленных фильтров бегущей волны (НФБВ), позволяющее миниатюризировать НФБВ, имеет технологические ограничения. Эти проблемы подробно рассмотрены в [2], где было показано, как их успешно можно решить при использовании модифицированного направленного ответвителя типа «тандем» [3]. Структурная схема и базовая топология реализованного в [2] микрополоскового НФБВ (МНФБВ) представлены на рис. 1. Проведенный анализ показал, что характер амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) МНФБВ такой же, как и у классического фильтра, при

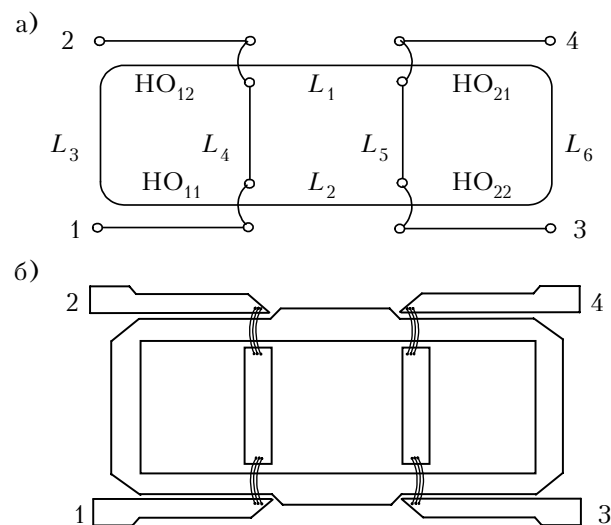


Рис. 1. Микрополосковый направленный фильтр бегущей волны:

a — структурная схема; *б* — базовая топология

практически таком же согласовании с СВЧ-трактом. Прямые потери в нем и полоса рабочих частот по уровню 3 дБ незначительно больше. Уменьшились лишь потери в полосно-пропускающем (ПП) канале за пределами рабочей полосы и уровень заграждения в полосно-заграждающем (ПЗ) канале, что является следствием неидеальности направленного ответвителя (НО) на основе МПЛ.

МНФБВ характеризуются хорошим согласованием по входу и выходу, т. е. имеют высокую — более 20 дБ — направленность, но при этом не требуют подключения на входе и выходе дополнительных развязывающих устройств (вентилей или циркуляторов).

Существенным недостатком большинства из известных фильтров СВЧ на основе МПЛ [4], которые относятся к классу зеркально отражающих устройств и основаны на отражении СВЧ-энергии вне полосы пропускания фильтра, является необходимость их согласования с основным трактом. Поскольку коэффициент стоячей волны ($K_{стн}$) в полосе пропускания должен быть малым, а в полосе заграждения — достаточно большим, именно $K_{стн}$ определяет условия согласования любого фильтра с основным трактом, что создает определенные проблемы.

В этом плане направленные фильтры бегущей волны имеют существенное преимущество по сравнению с другими селективными устройствами СВЧ. Принцип функционирования МНФБВ основан на возникновении во вторичных каналах всех четырех НО, объединенных отрезками МПЛ в замкнутый кольцевой резонатор, резонанса в виде бегущей волны.

Поскольку входным и выходным элементами МНФБВ являются НО, МНФБВ имеет идеальное согласование с трактом, т. к. $K_{стн}$ НО теоретически равен единице как при резонансе, так и вне его, а кольцевой резонатор не вносит рассогласования в основной тракт.

Если сигнал поступает в плечо 1 (см. рис. 1), то плечо 4 будет развязанным, в плече 2 будут реализованы характеристики ПЗ-фильтра, а в плече 3 — характеристики ПП-фильтра, т. е. базовые параметры классического НФБВ.

Если частоте резонанса соответствует рабочая длина волны, то в полосе пропускания (на выходе ПП-канала) потери будут минимальными, т. е. происходит почти полная передача энергии со входа фильтра на его ПП-выход.

Кроме недостатков известных МПЛ-фильтров в отношении согласования с трактом, они к тому же не могут иметь управляемые характеристики в силу своей конструктивной реализации. Это связано с тем, что

встраивание в структуру фильтра любого нелинейного элемента создает неоднородность. В результате происходит нарушение резонанса, которое ведет не только к рассогласованию с основным трактом, но и к потере селективных свойств. У МНФБВ здесь очевидное преимущество.

При конструировании СВЧ-фильтров на микрополосковых линиях — полосовых, режекторных, фильтров нижних частот — одной из наиболее сложных задач является устранение рассогласования с основным трактом при отстройке от резонансной частоты. Избежать этой проблемы можно, особенно в многоканальных системах, применив МНФБВ [5], который к тому же позволяет в одном устройстве реализовать как полосно-пропускающий, так и режекторный фильтры.

МНФБВ имеет еще одно преимущество. Поскольку, как отмечено выше, кольцевой резонатор не вносит рассогласования в основной тракт, в него можно встроить активный (усилительный) элемент или управляемую неоднородность, не ухудшая при этом селективных свойств фильтра. В то же время включение этих элементов в резонатор позволяет на базе МНФБВ создавать новые устройства с иными функциональными свойствами.

Перспективы применения МНФБВ в СВЧ-технике

Исследования показали, что предложенная конструкция (топология) МНФБВ может являться базовой для создания других СВЧ-устройств с новыми функциями. Одно из таких устройств — разработанный на основе МНФБВ активный фильтр [6], одновременно реализующий в одном топологическом конструктиве функции фильтра и усилителя (рис. 2, а, где А — усилительный активный элемент).

Характер изменения формы и уровня СВЧ-сигнала в ППФ-канале при включении в резонатор активного элемента-усилителя показан на рис. 2, б, где α — потери.

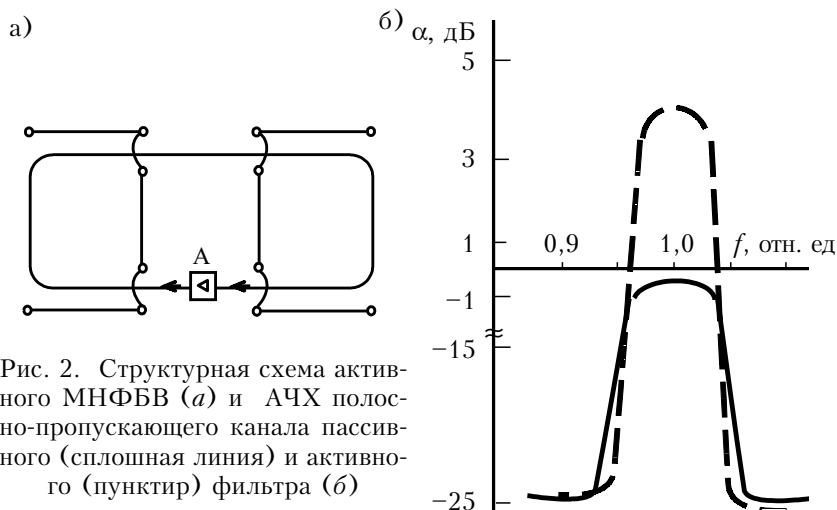


Рис. 2. Структурная схема активного МНФБВ (а) и АЧХ полосно-пропускающего канала пассивного (сплошная линия) и активного (пунктир) фильтра (б)

Частотно-селективные свойства такого фильтра не хуже, чем у базового. В то же время, потери ПП-плеча в нем не только скомпенсированы, но и получено усиление на резонансной частоте (рис. 2, б). Увеличена также крутизна фронтов и, как следствие, возросло подавление сигнала вне рабочей полосы.

Используя те же преимущества МНФБВ, можно в резонансное кольцо встроить нелинейные элементы с иными (не усилительными) свойствами и получить возможность управлять другими параметрами МНФБВ, например изменять его резонансную частоту, а нарушая гальванический контакт перемычек НО типа «тандем» — превращать МНФБВ в выключатель.

Еще одним примером реального применения МНФБВ может служить компактное частотно-разделительное устройство (**ЧРУ**), которое является неотъемлемым узлом любой многочастотной радиотехнической системы. Традиционно эта задача реализуется с помощью полосовых фильтров на требуемые частоты, подключенных к основному СВЧ-тракту посредством НО. При этом для унификации обработки сигналов выделенных частотных стволов (полос) желательно на выходах фильтров иметь равноамплитудный сигнал. Это условие определяет необходимость индивидуального расчета переходного ослабления НО для каждого частотного ствола, а избежать этой проблемы можно, реализуя микрополосковое ЧРУ с помощью предложенных МНФБВ (рис. 3) [7].

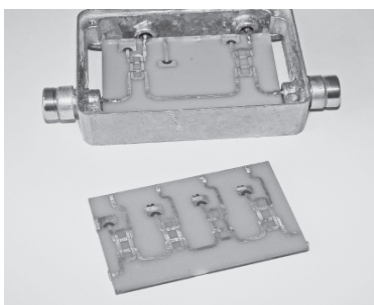


Рис. 3. Двухканальное (вверху) и четырехканальное (внизу) микрополосковое ЧРУ 3-см диапазона

Если в качестве элемента ЧРУ применить описанные выше активные МНФБВ, то путем электронной регулировки усиления каждого из них можно достаточно легко получить равноамплитудные сигналы на выходах всех фильтров.

Еще одной проблемой, которую можно решить с помощью МНФБВ, является создание монолитной интегральной схемы (**МИС**) СВЧ-генератора. Реализация такой МИС на основе низкодобротной МПЛ нецелесообразна, т. к. не позволит получить необходимую стабильность СВЧ-генератора.

Для реализации требуемой стабильности в микрополосковых генераторах применяют высокодобротные диэлектрические резонаторы,

обеспечив их электромагнитную связь с низкодобротной МПЛ. Но микрополосковый СВЧ-генератор такой конструкции по существующей технологии выполнить в одном цикле в виде МИС невозможно.

В [8] была рассмотрена перспектива применения в интегральных СВЧ-генераторах резонатора бегущей волны, но реализовать эту идею при помощи НО на двух связанных МПЛ было технологически невозможно по тем же причинам, что и МНФБВ. Из рис. 1 очевидно, что микрополосковый резонатор бегущей волны можно реализовать, исключив из МНФБВ один из НО типа «тандем». Технологически это не представляет никакой сложности.

Реализованный с таким резонатором микрополосковый СВЧ-генератор был защищен авторскими правами [9]. Его стабильность в сравнении с генератором по аналогичной схеме, но с резонатором в виде четвертьволнового отрезка МПЛ, лучше на два порядка.

* * *

Таким образом, на примере ряда устройств показано, что описанный в работе микрополосковый направленный фильтр бегущей волны может служить базовой конструкцией для создания целого ряда перспективных СВЧ-устройств с новыми функциональными свойствами.

Дальнейшие исследования свойств МНФБВ позволят значительно расширить сферу его применения и существенно дополнить ряд интегральных СВЧ-устройств. Это в свою очередь послужит основанием классифицировать устройства с микрополосковыми резонаторами бегущей волны, функционирование которых обеспечивает режим не стоячей, а бегущей волны, как самостоятельное направление в СВЧ-технике.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Siber M., Simon A. On the right wavelength: microwave and RF technology for defence // Microwave Journal. — 2010. — № 10. — P. 22–38.
2. Глушеченко Э.Н. Особенности реализации микрополосковых фильтров с кольцевыми резонаторами бегущей волны // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.—2012.— № 6.— С. 11–15. [Glushechenko E.N. // Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature. 2012. N 6. P. 11]
3. Shelton J.P., Wolf J., Van Wagoner R. Tandem couplers and phase shifters // Microwaves. — 1965, April. — P.14–19.
4. Влостовский Э.Г. Фильтры на параллельных связанных линиях для интегральных схем СВЧ. — Москва: НИИ ТЭИР, обзор №2/76. [Vlostovskii E.G. Fil'try na parallel'nykh svyazannykh liniyakh dlya integral'nykh skhem SVCh. Moskva: NII TEIR, obzor №2/76]
5. А.с. 1406668 СССР. Микрополосковый направленный фильтр бегущей волны / Э. Н. Глушеченко.—1998.— Бюл. № 24. [A.s. 1406668 SSSR / E. N. Glushechenko.1998. Bull. 24]
6. Патент Украины на корисну модель 40850. Мікросмуговий напрямлений фільтр бігучої хвилі / Е. М. Глушеченко. — 2009. — Бюл. № 8. [Patent Ukrayini na korisnu model' 40850 / E. M. Glushechenko. 2009. Bull. 8]

7. Глушеченко Э.Н. Микрополосковое частотно-разделительное устройство на кольцевых резонаторах бегущей волны // Матер. 19-й Междунар. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Т. 2. — Украина, Крым, г. Севастополь. — 2009. — С. 507–508. [Glushechenko E.N. // Mater. 19-i Mezhdunar. konf. «SVCh-tekhnika i telekommunikatsionnye tekhnologii». Vol. 2. Ukraina, Krym, g. Sevastopol'. 2009. P. 507]

8. Miller S.J. Traveling wave resonator and high power testing // Microwave Journal. — 1960. — Vol. 3, № 9.

9. А.с. 159810 СССР. Микрополосковый СВЧ генератор / Э. Н. Глушеченко. — 1990. — Бюл. № 37. [A.s. 159810 SSSR / E. N. Glushechenko. 1990. Bull. 37]

*Дата поступления рукописи
в редакцию 02.07 2012 г.*

Glushechenko E. N. **Potential applications of microstrip devices with traveling wave resonators.**

Keywords: microwave devices, microstrip line, ring resonator, traveling wave, directional coupler, filter.

The shortcomings of the known microwave filters in microstrip lines are considered, the advantages of the use of directional traveling-wave filters in microstrip performance and examples of their potential applications are shown.

Ukraine, Kiev, SPE «Saturn».

Глушеченко Е. М. **Перспективи застосування мікрополоскових пристроїв з резонаторами біжучої хвилі.**

Ключові слова: СВЧ-прилади, мікрополоскова лінія, кільцевий резонатор, біжуча хвиля, спрямований відгалужувач, фільтр.

Розглянуто недоліки відомих НВЧ-фільтрів на мікросмушкових лініях, показано переваги використання спрямованих фільтрів біжучої хвилі в мікрополосковому виконанні і наведено приклади їх перспективного застосування.

Україна, м. Київ, НВП «Сатурн».

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Васильев А. Г. и др. СВЧ транзисторы на широкозонных полупроводниках.— Москва: Техносфера, 2011.

В учебном пособии по физическим основам и технологии транзисторов на широкозонных полупроводниках рассмотрены свойства двумерного электронного газа и физика гетеропереходов, в основном типа AlGaIn/GaN. Проведен обзор структур транзисторов на основе GaN, на алмазе и карбиде кремния. Рассмотрены свойства подложек из сапфира, карбида кремния и других материалов. Проанализированы методы изготовления гетеропереходов эпитаксией из металл-органических соединений и молекулярно-лучевой эпитаксией. Рассмотрены требования к омическим контактам и барьерам Шоттки, на основе которых создаются гетероэпитаксиальные полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов в канале (HEMT), а также технология транзисторов на алмазе. Приведен обзор методов контроля технологических процессов изготовления транзисторов, методов измерения основных параметров СВЧ-транзисторов и контроля их надежности. Книга будет полезна студентам, аспирантам, инженерам и научным работникам, специализирующимся в области разработки и применения изделий твердотельной электроники.

НОВЫЕ КНИГИ



Ефименко А. А. Проектирование межблочных электрических соединений электронных средств в базовых несущих конструкциях.— Одесса: Политехпериодика, 2013.

В монографии рассматриваются вопросы проектирования межблочных электрических соединений в электронной аппаратуре, создаваемой с использованием базовых несущих конструкций (БНК). Приводится классификация и характеристика современных типов электрических соединений и БНК, формализованы задачи их проектирования. Большое внимание уделено методам и средствам проектирования межблочных электрических соединений и БНК, а также вопросам создания моделей и алгоритмов проектирования. Отдельно рассмотрены методы проектирования электро монтажа с использованием непаяных контактных соединений. Монография предназначена для разработчиков электронных средств. Вместе с тем, она может быть полезна студентам и аспирантам соответствующих специальностей.