

Конструктивные и технологические особенности модулей СВЧ

Кива Джурицкий, Александр Лисицын (Московская обл.)

В статье рассмотрены современные конструктивные и технологические методы повышения электрических параметров, надёжности и ремонтпригодности модулей СВЧ.

ТРЕБОВАНИЯ К МОДУЛЯМ СВЧ

Электронный модуль СВЧ – это изделие электронной техники для диапазона частот 3...30 ГГц, имеющее законченное конструктивное исполнение и состоящее из одного или нескольких функциональных узлов СВЧ, взаимозаменяемое и неремонтпригодное в условиях эксплуатации. Модули являются базовыми компонентами радиоэлектронной аппаратуры СВЧ (РЭА СВЧ). На рисунке 1 изображены примеры модулей СВЧ.

Создание модуля предполагает разработку его конструкции и технологии изготовления. К современным модулям СВЧ предъявляется большое число сложных, часто взаимоисключающих требований:

- высокий уровень электрических параметров с учётом конструктивно-технологических запасов;

- прочность и (или) устойчивость к внешним воздействующим факторам (механическим, климатическим, биологическим и специальным);
- надёжность и длительная сохраняемость;
- минимальные габариты, установочные и присоединительные размеры и масса;
- приемлемые способы охлаждения и крепления в аппаратуре;
- определённые типы вводов и выводов энергии, напряжения питания и сигналов управления;
- производственная технологичность, требования стандартизации и унификации, высокий процент выхода годных изделий, низкая стоимость и др.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ МОДУЛЕЙ

Диапазон рабочих частот модуля определяет выбор базовой технологии, типы вводов и выводов энергии, питания и сигналов управления, а также линий передачи электромагнитной энергии.

Основой электронного модуля СВЧ являются печатные платы и интегральные схемы (ИС). В настоящее время используют следующие типы ИС: толстоплёночные, тонкоплёночные гибридно-интегральные (ГИС), гибридно-монокристаллические (ГМИС) и монокристаллические (МИС) схемы. В печатных платах корпусированные активные элементы монтируют пайкой на подложки из фольгированных органических диэлектриков; их достоинством являются малое время задержки сигнала, невысокая стоимость, высокая производительность сборки, короткий технологический цикл разработки и изготовления. Однако применение печатных плат ограничено

высоким значением тангенса угла диэлектрических потерь материала подложки, низкой разрешающей способностью рисунка проводников электрической схемы, увеличением габаритов, снижением надёжности (из-за использования флюсов при пайке) и воспроизводимости электрических параметров, а также отсутствием полного набора отечественных комплектующих элементов, предназначенных для поверхностного монтажа. Печатные платы применяют в производстве модулей в основном гражданского применения. В последнее время, благодаря совершенствованию техники печатного монтажа, их используют и в производстве некоторых типов модулей специального применения.

Толстоплёночные ИС на основе керамики изготавливают с использованием высокотемпературного или низкотемпературного обжига. Тангенс угла диэлектрических потерь и разрешающая способность рисунка в этом случае не имеют решающего значения.

Конструкторско-технологические решения модулей на основе ГИС, ГМИС и МИС достаточно близки. Они должны обеспечивать миниатюризацию, высокие электрические параметры и надёжность модулей. Сравнительно недорогая технология ГИС требует меньше времени на разработку и поэтому в настоящее время наиболее широко используется в твердотельной электронике СВЧ. В качестве подложек ГИС перспективно использование сапфира. Такие подложки дороже стандартных поликорковых, однако, их применение позволяет в едином технологическом цикле изготавливать кроме полосковых линий и индуктивностей также и конденсаторы.

Технология МИС обеспечивает высокую повторяемость параметров и расширенные функциональные возможности создаваемых устройств. Однако производство сложных монокристаллических схем с высоким процен-

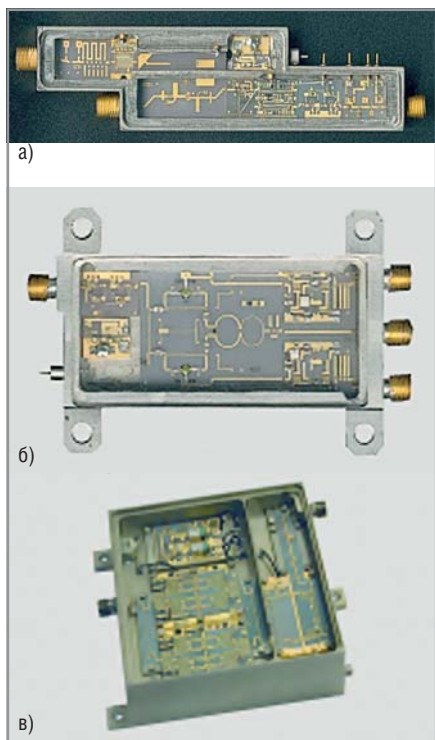


Рис. 1. Внешний вид модулей СВЧ

том выхода годных изделий и приемлемой стоимостью в настоящее время проблематично. Разработка МИС оправдана только для массовой продукции. Кроме того, некоторые электрические параметры МИС, например, коэффициент шума усилителей и смесителей, хуже, чем в гибридно-интегральных схемах.

Вводы и выводы модулей СВЧ

В качестве вводов и выводов энергии в модулях СВЧ применяют прямоугольные волноводы, коаксиально-микрополосковые переходы и микрополосковые линии. Использование волноводов целесообразно в диапазоне частот выше 8,25 ГГц и особенно оправдано на частотах выше 18 ГГц, а также при необходимости стыковки модулей с высокодобротными волноводными фильтрами. На частотах ниже 8,25 ГГц волноводы имеют слишком большие размеры, и их изготовление трудоёмко. В модулях СВЧ чаще всего применяют штыревые и волноводно-щелевые переходы.

Для передачи СВЧ-энергии с коаксиальной линии на микрополосковую наиболее широко применяются коаксиально-микрополосковые переходы (КМПП), к которым предъявляют следующие требования:

- возможность использования в устройствах со стандартным волновым сопротивлением 50 Ом на подложках из поликора толщиной 0,5 мм и 1 мм;
- высокие электрические параметры – малые КСВН и потери, повторяемость фазочастотных характеристик при перестыковках, надёжность, допустимая мощность, радиогерметичность и при необходимости радиационная стойкость;
- герметичность (скорость натекания $10^{-9} \dots 10^{-11}$ м³ Па/с);
- технологичность в изготовлении, приемлемая стоимость и др.

В микроэлектронных и радиотехнических устройствах СВЧ наиболее широко применяют зарубежные и отечественные КМПП типа SMA, обеспечивающие согласование на частотах до 18 ГГц, а при определённых условиях и до 26,5 ГГц [1]. Резьбовая часть корпуса перехода выполняется с метрической (М6×0,75) или с дюймовой (0,250-36UNS-2A) резьбой. Наружный диаметр дюймовой резь-

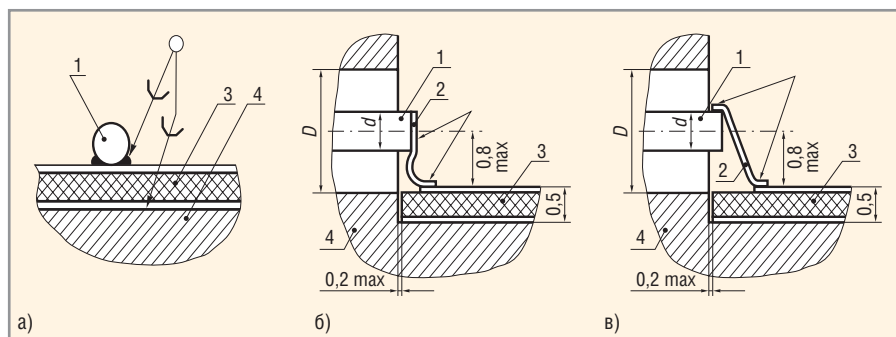


Рис. 2. Соединение центрального проводника КМП с МПЛ

(а) «внахлестку», (б) плоской перемычкой, (в) «Z-соединение». 1 – центральный проводник; 2 – перемычка; 3 – подложка с МПЛ; 4 – корпус модуля

бы приблизительно равен 6,2 мм, а её шаг 0,706 мм.

Из отечественных герметичных КМПП наиболее широко применяется переход типа СРГ-50-751ФВ с коаксиальной линией размерами 4,1/1,27 мм, заполненной фторопластом. Покрытие металлических поверхностей перехода выполнено из сплава олова с висмутом. Переход имеет приемлемые параметры согласования до 11...12 ГГц, устойчивость к поломке гнездового контакта и сравнительно невысокую стоимость. Однако этот КМПП по основным параметрам существенно уступает зарубежным аналогам и не обладает достаточной радиационной стойкостью. Разработан аналог перехода СРГ-50-751ФВ, имеющий точно такие же габариты, присоединительные и установочные размеры, КСВН которого на частотах до 18 ГГц не превышает 1,25 (у перехода СРГ-50-751ФВ КСВН = 1,5) [1].

Герметичные КМПП с предельной рабочей частотой 36 ГГц (с воздушной коаксиальной линией размерами 3,5/1,52 мм), близки по своим параметрам зарубежным аналогам. Они имеют золочёные металлические поверхности, высокую радиационную стойкость и хорошую повторяемость параметров при повторных соединениях. Общим недостатком всех соединителей с воздушной коаксиальной линией является возможность отгибания и поломки ламелей гнездового контакта.

Широко применяются также «составные» герметичные КМПП, сочетающие 50-омный герметичный металлоглазанный СВЧ-ввод, впаиваемый в корпус модуля, и фланцевый СВЧ-разъём. В этом случае возможна замена СВЧ-разъёма в полевых условиях. С такими КМПП наиболее целесообразно выпускать унифицированные

модули, которые могут стыковаться как с коаксиальными разъёмами, так и с полосковыми линиями.

В измерительных приборах и измерительной оснастке чаще всего применяют КМПП с размерами коаксиала 7/3,04 мм.

Переход с микрополосковой на коаксиальную линию в модуле СВЧ может быть соосным или перпендикулярным. При правильной конструкции соосный переход мало изменяет структуру поля в месте соединения с МПЛ и потому является наиболее широкополосным.

Для достижения минимальных потерь СВЧ-сигнала при переходе с микрополосковой на коаксиальную линию необходимо соблюдение следующих рекомендаций по установке КМПП в корпус модуля и соединению его центрального проводника с МПЛ [1, 2] (рис. 2):

- диаметр центрального проводника КМПП не должен превышать ширину микрополосковой линии;
- центральный проводник и МПЛ должны быть соосны;
- выступ центрального проводника за габариты корпуса модуля должен быть менее 0,3 мм;
- диаметр отверстия в корпусе модуля в месте расположения центрального проводника КМПП (с учётом толщины покрытия) должен быть равен 1,38 мм, если диаметр центрального проводника равен 0,6 мм, и 1,15 мм при диаметре проводника 0,5 мм;
- электрическое соединение центрального проводника КМПП с микрополосковой линией лучше выполнять сваркой с использованием плоской перемычки («плющенко») или проволоки из золота, внахлестку на полосок. Перемычка должна быть приварена как можно ближе к

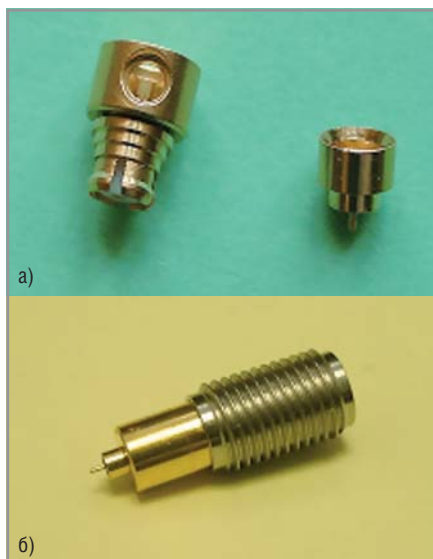


Рис. 3. Коаксиально-микророскопические переходы с предельной частотой 40 ГГц.

(а) типа SMP, (б) 2,9-мм соединитель

краю полосковой линии. Соединительную перемычку необходимо приваривать к торцу центрального проводника КМПП и к полоску с небольшим напуском (петлей);

- соединение перемычки с центральным проводником, покрытым сплавом олова с висмутом, менее надёжно, чем соединение по золотому покрытию центрального проводника;
- зазор между торцом платы и стенкой корпуса должен быть минимально возможным (с учётом теплового расширения элементов модуля), но не более 0,2 мм;
- возможна аксиальная установка КМПП в корпус модуля таким образом, чтобы его центральный проводник не выступал из корпуса. В этом случае оптимальное расстояние от оси КМПП до поверхности платы толщиной 0,5 мм должно быть не более 0,8 мм; корпус над торцом центрального проводника необходимо вскрыть для облегчения сварки. Однако этот способ менее предпочтителен для широкополосных изделий;
- в верхней части СВЧ-диапазона частот, когда толщина керамической подложки и ширина полоска МПЛ равны 0,25 мм, желательно использовать «подвешенную» МПЛ (с удалённой металлизацией экрана). Это позволяет увеличить ширину полосков линии.

При жёстких требованиях к габаритам модуля используют миниатюрные соединители типа SMP [1] (см. рис. 3а). Они соединяются защёлкиванием и имеют предельную рабочую частоту 40 ГГц. На частотах 26...45 ГГц лучшие параметры согласования обеспечивают КМПП с меньшими размерами воздушной коаксиальной линии – 2,92/1,27 (см. рис. 3б) и 2,4/1,04 мм. Однако отечественные аналоги этих КМПП не выпускаются.

Традиционный способ создания РЭА СВЧ из модулей с коаксиальными разъёмами приводит к увеличению размеров аппаратуры. Поэтому в современных модулях всё чаще используют малогабаритные герметичные импедансно-согласованные выводы СВЧ. Они могут быть конструктивно-законченными, впаиваемыми в корпус модуля или являться частью многослойного керамического корпуса. Такие выводы позволяют миниатюризировать СВЧ-устройство и в то же время обеспечивают технологичность его сборки, настройки и ремонта, а также хорошую экранировку модулей друг от друга. Применение согласованных выводов в многофункциональных модулях даёт дополнительные возможности в выборе расположения выводов и компоновке модуля и позволяет снизить трудоёмкость изготовления и увеличить процент выхода годных изделий. Так, например, герметичный толстоплёночный микророскопический СВЧ-вывод* с габаритами 1 × 4 × 4,5 мм на частоте 4 ГГц имеет потери 0,1...0,15 дБ и КСВН = 1,15...1,3. В работе [3] описан модуль с подобными выводами, имеющий на частоте 33 ГГц потери менее 0,5 дБ.

При большом количестве миниатюрных герметичных выводов может ощущаться нехватка места в модулях, используемых, например, в составе космической аппаратуры с резервированием. В этом случае применяют специально разрабатываемые пакезированные сборки вводов, осуществляющие контакт при помощи подпружиненных прижимов.

Линии передачи

В СВЧ-модулях применяют следующие типы линий передачи электромагнитной энергии:

- микророскопическую – основной используемый тип линии;
- связанную микророскопическую – в фильтрах и для гибридных соединений;
- щелевую линию и копланарный волновод – в гибридных соединениях на комбинациях линий передачи и в межэтажных переходах. Линии этого типа могли бы стать основными для гибридно-интегральных модулей из-за удобства монтажа элементов схемы, но конструкции их соединений с внешними выводами энергии недостаточно отработаны;
- линию с подвешенной подложкой – при необходимости высокого волнового сопротивления и технологически реализуемой ширине линии (в направленных ответвителях).

Вводы питания и управления СВЧ-модуля должны обеспечивать его электромагнитную совместимость. Они должны подавлять внутриблочные и внутримодульные помехи и создавать развязку по СВЧ-помехам. В качестве таких вводов применяют коаксиальные фильтры нижних частот.

Зарубежные фирмы выпускают широкую номенклатуру миниатюрных проходных фильтров нижних частот. Рекламируются фильтры с электрической ёмкостью от единиц до десятков тысяч пикофард, номинальным напряжением от 50 до 200 В и номинальным током от 3 до 15 А [1].

Герметизация модулей

Обеспечение устойчивости модулей к климатическим и биологическим воздействиям, радиогерметичности, надёжности и длительного срока хранения обеспечивается их герметизацией. Герметизация может осуществляться пайкой, сваркой или приклеиванием крышки к корпусу модуля. Для высоконадёжных изделий наиболее пригодными являются пайка и сварка. Некоторое ограничение герметизации пайкой для ремонтнопригодных модулей (с применением выдерживаемой проволоки [4]) – необходимость увеличения ширины кромок корпуса. Корпуса, герметизируемые лазерной сваркой, приходится изготавливать из труднообрабатываемых материалов (сплава 29НК или титана).

*В СВЧ-модулях могут применяться и негерметичные микророскопические выводы энергии. В этом случае герметичность внутри модуля может быть обеспечена его покрытием полиимидной плёнкой.

Несмотря на повышенное выделение из клеев газов и летучих веществ, герметизация клеем с наполнителем из алюминиевого порошка обеспечивает минимальную наработку модулей на отказ 10 000 ч и более, а также радиогерметичность на уровне –60 дБ. При герметизации клеем рекомендуемая ширина посадочной кромки корпуса должна быть не менее 1,5 мм. Для обеспечения прочности корпуса при пониженном давлении крышку дополнительно крепят винтами, на шляпки которых наносят клей.

Метод сборки, называемый «надёжность без герметичности», исключает применение герметичных корпусов и, соответственно, технологические операции термической дегазации и проверки на герметичность. В этом случае ИС покрывают электроизолирующими, химически пассивными материалами. Опробована защита малошумящего модуля (рабочая частота 1,5 ГГц) с бескорпусными активными элементами при помощи распыления в его внутреннем объёме полипараксилилена.

Устойчивость модулей к таким климатическим факторам, как морской туман и плесневые грибы, обеспечивается гальваническим покрытием его корпуса палладием толщиной не менее 6 мкм (вместо обычно применяемого более дешёвого никелевого покрытия или покраски).

Особенности конструкции и технологии изготовления модулей СВЧ

Насыщенность СВЧ-модулей элементами, взаимозависимость электронных компонентов, схем, узлов, установочных изделий и материалов влияют на электрические параметры, надёжность, технологию изготовления и определяют дополнительные конструктивно-технологические особенности модулей.

При изготовлении высоконадёжных модулей с бескорпусными активными элементами необходимо использовать бесфлюсовые процессы сборки. Бесфлюсовая сборка обеспечивает стабильность параметров (тока и коэффициента усиления) полевых транзисторов. При такой сборке активные элементы модуля, монтируемые на несущие основания, крепят в корпус винтами или прижимами, а межсхемные соединения выполняют

сваркой. Винты фиксируют никелевой «плющенкой», привариваемой к их шляпкам и к корпусу. При креплении основания винтами М1,6, вкручиваемыми в корпус, минимальная толщина основания должна составлять 1,3 мм. Для гарантированного прижима основания на стыках винты располагают на расстоянии 1,5 мм от его краёв. Необходимо обеспечить плоскостность и чистоту поверхности основания и посадочных мест в корпусе. При размерах основания более 15 мм для лучшей термостойкости необходима дополнительная точка крепления.

Основания обычно изготавливают из сплава 29НК, хорошо согласующегося по коэффициенту термического расширения (КТР) с поликоровой подложкой МПЛ и обеспечивающего прочность резьбового соединения. Основания тепловыделяющих узлов изготавливают из сплава МД-40, МД-50 (молибден – медь), имеющего высокую теплопроводность и хорошее согласование по КТР с поликором. Для заполнения неровностей поверхностей корпуса и основания используют прокладку из индия. Однако следует подчеркнуть, что применение несущих оснований требует дополнительных мер по обеспечению низкого уровня КСВН.

Пассивные узлы модуля (вентили, фильтры, промежуточные полоски) нередко паяют непосредственно на дно его корпуса. Для обеспечения надёжности модуля при циклическом изменении температуры окружающей среды во время пайки плат с размером одной из сторон более 15 мм необходимо использовать термокомпенсирующие прокладки (для корпусов из алюминиевых сплавов применяется свинец, плакированный индием). Допуски на размеры деталей и узлов должны быть жёсткими во избежание образования трещин в платах. В состав одной ГИС должны включаться ИС с близкими температурными режимами.

Для уменьшения массы, повышения технологичности и снижения стоимости модулей их корпуса изготавливают из сплавов алюминия Д16 и АМц. В конструкции корпуса необходимо предусматривать элементы, обеспечивающие его жёсткость и отсутствие резонансных частот.

Интегральная технология в наибольшей степени отвечает требова-

нию технологичности. Из-за необходимости контроля параметров и замены узлов в модулях с большим набором контролируемых параметров, удобным конструктивным решением является крепление узлов в корпус при помощи винтов. При этом использование бесфлюсовых процессов сборки для модулей с бескорпусными полупроводниковыми элементами, наряду с повышением надёжности, позволяет улучшить и другие технические характеристики: устранить дрейф параметров при включении питания (минимизировать время готовности), стабилизировать временные изменения параметров и снизить их температурный дрейф.

Для обеспечения технологичности сборки модулей необходимо:

- обеспечить хороший доступ к местам сварки и пайки. При этом расстояние от поверхности плат до стенок корпуса должно быть не менее 10 мм;
- исключить закрытые полости, из которых затруднено удаление флюса после пайки вводов и пассивных плат;
- осуществлять сварку межсхемных соединений проволокой, а не «плющенкой».

Для оптимизации настройки параметров модуля, при конструировании необходимо предусматривать возможность быстрого определения и замены неисправных элементов. Конструкция ИС должна обеспечивать возможность контроля (при помощи СВЧ-зондов) рабочих характеристик, как в процессе изготовления узла, так и в составе модуля. Для модулей СВЧ-диапазона частот необходимо минимизировать влияние крышки и внутреннего объёма модуля на его параметры. Влияние крышки становится заметным, когда её удаление от МПЛ меньше 7-кратной толщины подложки.

Корпус не влияет на параметры модуля только при условии «запредельности» волновода, образуемого его стенками, для распространения электромагнитных волн во внутреннем объёме модуля. Для этого ширина канала корпуса, в котором размещают СВЧ-узлы, не должна превышать значения $150/f_{\text{верх}}$ [мм], где $f_{\text{верх}}$ – верхняя рабочая частота, ГГц. На частотах выше 15 ГГц или для широкополосных модулей, когда платы монтируют на тонкие широкие основания, это условие не выполняется. Поэтому

приходится на нижнюю поверхность крышки помещать поглощающий материал, а для местного сужения ширины канала применять вставные металлические боковые стенки внутри корпуса.

Материал, эффективно поглощающий энергию поля, должен одинаково хорошо поглощать и электрическое, и магнитное поле. Дополнительные меры применяют, когда работоспособность модуля принципиально определяется размерами его внутреннего объёма (генераторы, фильтры и т.п.). Их целесообразно закрывать дополнительными внутренними крышками для удобства настройки оставшейся части модуля.

Особенность технологии изготовления приёмных модулей, важнейшим параметром которых является коэффициент шума на промежуточной частоте (ниже 1 МГц), заключается в обеспечении высокого качества всех электрических соединений. Низкое качество соединений, прежде всего на стыке подложка-основание, проявляется в виде кратковременных непериодических «всплесков» или длительных (с периодом до нескольких минут) периодических повышений уровня низкочастотного шума. В таких модулях нельзя использовать толстоплёночные резисторы, поскольку они имеют худшие шумовые и температурные характеристики.

Для получения оптимального сочетания электрических параметров важно правильно разделить СВЧ-модуль на составляющие узлы. Для унификации и снижения стоимости узел модуля должен выполнять минимальное количество функций и иметь максимальную широкополосность. Тогда его можно использовать в модулях различного назначения и сложности, легко контролировать его параметры, находить и устранять неисправности. В то же время для увеличения степени интеграции и уменьшения числа межсоединений желательно наращивать количество функций отдельного узла. Иногда для достижения необходимых электрических параметров нужно объединить в один узел схемы различного функционального назначения. Например, смеситель – усилитель промежуточной частоты, фильтр подавления зеркального канала – смеситель, вентиль – усилитель, умножитель частоты – фильтр и т.д.

Для обеспечения необходимых электрических параметров аппаратуры полезно сами модули делать многофункциональными. Так, идентичность параметров многоканальной системы наиболее просто обеспечивается использованием единого многоканального корпуса модуля, в котором количество межсхемных переходов минимально, а изменения параметров под воздействием дестабилизирующих факторов происходят согласованно.

В других случаях влияние внеполосных сигналов и переотражений СВЧ-сигналов снижают при помощи развязывающих вентилях, развязывающих усилителей и резистивных аттенюаторов. Для развязки по постоянному току, уменьшения проникновения видеосигналов управления на выходы модуля, снижения КСВН и улучшения повторяемости параметров лучше использовать не сосредоточенные конденсаторы, а развязки на четвертьволновых отрезках линий передачи. Электромагнитную совместимость модуля с остальной частью аппаратуры целесообразно обеспечивать посредством управления стробируемыми каскадами при помощи встроенных схем формирования (модуляторов).

Такие электрические параметры, как развязка каналов многоканального модуля, глубина стробирования или величина управляемого затухания в СВЧ-узлах, побочные каналы приёма (паразитные сигналы) и другие, напрямую зависят от конструкции модуля и его насыщенности элементами. Поэтому необходимо применять конструктивные элементы, обеспечивающие снижение электромагнитной связи узлов. Кроме обеспечения «защитности» ширины каналов и использования промежуточных крышек, применяют межэтажные и межсекционные СВЧ-переходы, поперечные стенки, элементы обеспечения радиогерметичности стыков крышек со стенками (винты, прокладки) и т.п.

Межэтажные и межсекционные СВЧ-переходы из отрезков коаксиального кабеля недостаточно миниатюрны и технологичны, но часто удобны в применении. Межсекционные переходы на микрополосковой линии в суженном канале

являются простыми в применении. Миниатюрны, но не всегда технологичны в стыковке 50-омные коаксиальные герметичные металлокерамические СВЧ-вводы [1]. Бывают удачными по конструкции микрополосково-щелевые переходы. Могут также применяться переходы из отрезков линий на гибких диэлектрических подложках.

Для достижения необходимых электрических параметров функционально насыщенных СВЧ-модулей не всегда целесообразно наращивать их конструктивно-технологическую сложность. Улучшение параметров проще обеспечивать с помощью цифрового управления (на основе микропроцессорной техники) регулируемые характеристики предварительно откалиброванных плавных аттенюаторов или фазовращателей.

Особое внимание необходимо уделять обеспечению развязок по цепям питания отдельных узлов многокаскадных усилителей или объединённых в одном корпусе аналоговых и цифровых устройств. Аналоговые малосигнальные схемы и цифровые ИС с большим уровнем сигнала должны иметь отдельные шины питания и заземления. Питание каскадов многокаскадных усилителей следует осуществлять от разных источников питания.

Важно также учитывать, что при увеличении степени интеграции неизбежно возрастает тепловая нагрузка на каждый компонент. На электрические параметры приёмно-передающих модулей влияет эффективность отвода тепла от усилителей мощности и развязка маломощных усилителей от тепловыделяющих узлов. Одно из основных назначений корпуса модуля в этом случае – обеспечение эффективного переноса тепла от тепловыделяющих элементов к среде охлаждения. Недопустимо использовать в СВЧ-модулях материалы и элементы с высоким выделением газов и летучих веществ. Также нежелательно использовать компоненты, требующие механической настройки в процессе работы.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, УНИФИКАЦИЯ, ИСПЫТАНИЯ МОДУЛЕЙ

Стандартизация и унификация конструкторско-технологических

решений модуля обеспечивается применением:

- стандартных деталей, узлов и материалов;
- унифицированных на предприятии-изготовителе нестандартных узлов, деталей и материалов;
- подложек ИС, соответствующих стандартным размерам;
- типовых технологических процессов.

Насыщенность модулей электронными компонентами, схемами и узлами определяет содержание технологической документации в части распределения объёма отбраковочных испытаний между узлами и самим модулем. Типичный перечень отбраковочных испытаний модуля: термоциклирование (3 цикла), испытание на вибропрочность в течение 30 мин, электротренировка при повышенной температуре в течение 96 ч.

При высоком качестве узлов модуля возможно уменьшить общий объём технологических испытаний на воздействие внешних факторов путём смещения акцента с испытаний

отдельных узлов на испытания модуля. Особенно информативно испытание на холодоустойчивость. Если модули применяются в импульсных системах, а их параметры для уменьшения трудоёмкости изготовления проверяются в непрерывном режиме, при контроле параметров в импульсном режиме обнаруживается изменение качества комплектующих элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На практике наиболее удачными конструкторско-технологическими решениями модулей СВЧ оказываются решения, обеспечивающие выполнение предъявляемых требований наиболее простым способом. Прежде всего, это устойчивость к воздействию внешних факторов и высокая технологичность в производстве. Поэтому конструирование модулей должно выполняться с учётом особенностей имеющейся технологии. Стабильность технологических процессов и строгость их соблюдения позволяют обеспечить эффективное про-

мышленное производство. Перспективными направлениями совершенствования СВЧ-модулей являются: использование встроенных микропроцессоров для обеспечения высокого уровня электрических параметров, применение гибридно-монокристаллических интегральных схем и объёмных многослойных схем на низкотемпературной керамике, новых материалов для подложек и корпусов, а также новых способов изготовления межсоединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джуринский К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. Техносфера, 2006.
2. Джуринский К.Б. Техника соединения коаксиально-микроразветвляемых переходов с микроразветвляемыми линиями в изделиях СВЧ. Электронные компоненты. 2004. № 9. С. 39-44.
3. Review of the Electrical Communication Laboratories. 1989. Vol. 37. № 2. PP. 123-126.
4. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. Высшая школа, 1990.





ЗАО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ СВЧ

Почтовый адрес: 107078, Москва, а/я 272
Тел. (495)917-21-03, (495)917-25-62, факс (495)917-19-70
mwsystems@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.



- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СЕРИЙНОМУ ПРОИЗВОДСТВУ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ МОЩНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ (0,5-18 ГГц) И ДРУГИХ СВЧ УСТРОЙСТВ

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ

- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО



www.mwsystems.ru

Некоторые серийно производимые твердотельные широкополосные СВЧ усилители:

Наименование	Тип усилителя	ΔF , ГГц	Ку, дБ, тип.	ΔKu , дБ, не более	P ₋₁ , Вт	P _{нас} , Вт	Кш, дБ, не более	КСВН, не более
PM12-C8-1	Мощный	1-2	47	3	18	24	-	2
PM24-C8	Мощный	2-4	40	3	20	25	-	2
PM618	Мощный	6-18	30	5	-	4	-	2,5
PM051	Мощный	0,5-1	40	3	-	160	-	2
MSPA-1020-26	Предварительный	1-2	38	3	0,4	0,6	-	2
MSPA-2040-29	Предварительный	2-4	35	3	0,8	1,8	-	2
MSLA2-20180-4.0	Малошумящий	2-18	26	4	0,01	-	4	2,5
Серия UV	Малошумящие	2-18	30	5	0,01-0,05	-	4-5	2,5

Усилители имеют герметичную конструкцию, встроенные стабилизаторы питания, температурную компенсацию усиления (температурные изменения усиления не более 1.5 дБ в диапазоне от - 50 до +75 градусов), возможность импульсной модуляции, встроенный детектор выходной мощности.



реклама