

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОБЛОКОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Введение

В настоящее время в изделиях радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) находят широкое применение микроблоки, которые позволяют сократить массогабаритные параметры и расширить функциональные возможности изделий РЭА. Это объясняется тем, что микроблок является принципиально новым видом конструктивного исполнения РЭА повышенной надежности и высокого уровня интеграции и более гибким развитием методов гибридной микроэлектроники. Как правило, в изделиях РЭА, в т.ч. для космической и специальной техники, применяются микроблоки с общей герметизацией, что обеспечивает высокую надежность, повышают сроки хранения в состоянии работоспособности и механико-прочностные показатели изделий РЭА. При разработке микроблоков особое внимание уделяется их моделированию, что повышает качество разработок, позволяет скорректировать конструкторско-технологическое, схемное решение и сократить цикл разработки изделия в целом.

Область применения моделирования

Начальным этапом моделирования является прикидочный расчет электрической схемы, предполагаемой к реализации в конструкции микроблока. Современные САПР позволяют автоматизировать полный процесс разбиения цифровых схем на конструкторско-законченные части:

- функциональное моделирование;
- реализация схемы по принятому функциональному делению;
- разбиение электрической схемы микроблока по отдельным микроплатам.

Этот этап моделирования выполняется, как правило, традиционным способом: распайкой электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на макетных печатных платах, в т.ч. и на унифицированных монтажных платах [1, 3, 4]. В настоящее время практически все бескорпусные активные элементы имеют корпусные аналоги, полностью идентичные по электрическим параметрам. Поэтому целесообразно проводить моделирование соответствующими тепловыми расчетами.

1. Моделирование цифровых схем на корпусных аналогах используемой в микроблоках бескорпусной элементной базы с применением стандартизированных коммутационных печатных плат и унифицированных монтажных плат, ячеек и монтажных блоков. При переходе от модели к рабочей конструкции микроблока, исполняемой в унифицированных герметичных корпусах [2] на основе бескорпусной элементной базы коэффициент $\Delta K = K_{МАК} - K_{МБ}$, определяющий уровень изменения совокупных конструкторско-технологических и схемных показателей при переходе от макета к конструкции микроблока весьма мал и удовлетворяет условию (1):

$$f_{огп} (МАК + МБ) \leq f_{огп} (МАК \equiv МБ), \quad (1)$$

где в левой части обобщенные технико-экономические показатели (ОТЭП) изделия РЭА при проведении двойного моделирования, в т.ч. на корпусных ЭРЭ и бескорпусных элементах с имитацией рабочего конструктивного оформления микроблока, а в правой - соответствующие показатели при одноступенчатом моделировании на корпусных ЭРЭ.

Выполнение условия (1) обусловлено характером цифровых схем, включая малое тепловыделение и симметрию морфологии межсоединений активных элементов, конструктивное единообразие их оформления, устойчивость микросхем к внешним полям, практическое отсутствие масштабно переносимых на конструкции микроблока паразитных наводок. При этом следует учитывать, что для обеспечения нормального теплового режима в конструкциях микроблоков при масштабном переходе к рабочей конструкции микроблока должны быть соблюдены условия допустимых значений полных сопротивлений пленочных элементов в наиболее важных цепях. При времени переключения элементов в наиболее важных цепях.

При времени переключения элементов $T_{\text{перекл}} > 10 \text{ нс}$ не должно выполняться заданное по схеме значение активных сопротивлений пленочных проводников. При $T_{\text{перекл}} \leq 10 \text{ нс}$ дополнительно учитываются RLC-параметры пленочных элементов [].

2. Моделирование микроблоков изделий РЭА, в т.ч. космической и специальной техники вызвано наличием критических режимов работы их схем и оптимизацией схемного, конструктивного решения и проходит в несколько этапов. Если для цифровых микроблоков при переходе от модели на корпусных ЭРЭ к рабочей конструкции на бескорпусных элементах сохраняются все схемные параметры, а тепловые режимы рассчитываются, то здесь масштабный переход приводит к значительным изменениям схемных параметров.

Такой переход возможен лишь при аналитическом расчете электромагнитных и электро- и магнитоэлектронных полей взаимодействия ЭРЭ и узлов, что при высокой плотности компоновки в объеме микроблока является сложной методологической задачей. Поэтому сначала необходима разработка первоначальной модели на корпусных ЭРЭ, а затем уточненной модели на бескорпусных элементах с имитацией рабочей конструкции микроблока. На первом этапе моделирования проверяется возможность реализации изделия РЭА и оцениваются достижимые схемные параметры; на втором - оценивается достоверность перенесения полученных схемных параметров на основной вариант исполнения микроблока.

Методика моделирования

Используя данный дифференциальный подход, целесообразно придерживаться следующего порядка моделирования.

1. *Расчет электрической схемы.* В качестве базового коммутационного-объединительного элемента используются унифицированные монтажные платы: плоскостные, объемные, а также перспективные плоскостные и объемные тканые. Если наряду с корпусными ЭРЭ используются бескорпусные активные элементы, то последние устанавливаются на платах непосредственно или в таре-спутнике. Используется корпусная пассивная элементная база или матрицы пленочных элементов, например матрицы тонкопленочных резисторов, дроссели, микротрансформаторы, катушки индуктивности, подстраиваемые конденсаторы, резисторы переменного сопротивления и т.д. используются в миниатюрном исполнении. Основными решаемыми задачами являются расчет электрической схемы микроблока и оценка электрических параметров схемы, реализуемой на микрорадиоэлементах.

2. *Разбиение схемы микроблока на конструктивно законченные части* (обычно функциональные узлы, реализуемые на отдельных микроплатах). Для микроблока небольшой элементности эта процедура выполняется ручным способом. Для большой элементности со сложной структурой соединения элементов, при наличии особо жестких требований к электро- и теплофизическим, электромагнитным параметрам схемы, используются методы автоматизированного разбиения схемы на конструктивно-законченные части [1]. Аналоговые схемы связной РЭА разбиваются на конструктивно законченные части ручным способом либо с вспомогательным использованием унифицированных алгоритмов автоматизированного разбиения.

3. *Поочередное или групповое моделирование микролат микроблока.* Оценивается возможность реализации параметров отдельных функциональных узлов в исполнении, максимально приближенном к рабочим конструкциям микролат в микроблоке. В упрощенном варианте моделирования можно использовать толстопленочные микроплаты с ограниченной коммутацией (рис.1) и универсальные с избыточной коммутацией (на рис. 2: 1 – керамическая подложка 24 x 36 мм; 2 – наружная граница диэлектрического и защитного слоев; 3 – защитный слой; 4 – зона установки конденсаторов типа К10-9 и К10-17; 5 – окна диэлектрического слоя; 6 – переходная площадка 1-го и 2-го проводниковых слоев; 7 – внешняя контактная площадка; 8 – второй проводниковый слой; 9 – первый проводниковый слой; 10 – контактная площадка 1-го проводникового слоя; 11 – контактная площадка 2-го проводникового слоя). На макетные микроплаты устанавливаются активные и пассивные бескорпусные ЭРЭ. Соответственно в нулевом и первом приближениях моделируются реальные топологии микролат. Моделирование является масштабным (на рис.3 показана схема масштабного мо-

делирования микроплат на базе использования макетных микроплат: 1 – макетная и рабочая микроплата; 2 – магистральная трасса; 3 – активные элементы; 4 – пассивные навесные элементы; 5 – определяющие магистральные трассы по цепям прохождения сигнала). В первом случае, при использовании микроплат с ограниченной коммутацией, масштаб макетирования составляет от 8:1 до 4:1, во втором достигает 2:1...5:1. Макетирование микроплат микроблока позволяет снимать характеристики функциональных узлов, максимально приближенные к рабочим, выявлять контуры топологии: расположение навесных элементов и трассы пленочной коммутации с минимумом пересечений соединений и выводов пленочных и навесных ЭРЭ.

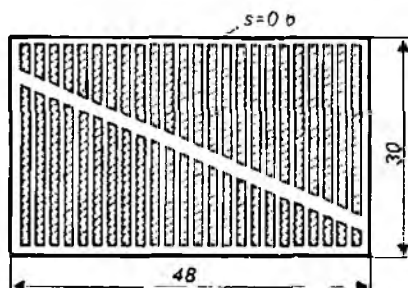


Рис. 1

Для схем с критическими режимами работы особое внимание уделяется электромагнитной совместимости навесных и пленочных элементов на микроплатах; предусматриваются варианты экранирования и взаиморасположения ЭРЭ на микроплатах. Для учета других существенных факторов при макетировании необходимо:

- рассчитывать в первом приближении тепловой режим микроплаты;
- отрабатывать окончательный эскиз топологии;
- для линейных схем выбирается порядок расположения каскадов и отдельных активных элементов;

- для высокочастотных схем и схем с критическими режимами работы экспериментально и расчетно определять зоны экранирования и теплозащиты;

- выбрать оптимальный вариант расположения внешних контактных площадок;

- рассчитывать LC- параметры пленочных проводников, гибких выводов навесных элементов и допустимые значения Спар между отдельными пленочными элементами микроблока

4. *Разработка объемной модели микроблока.* Для цифровых схем, реализуемых в виде встроенных блоков вычислительной аппаратуры, объемная модель выполняется в унифицированных макетных блоках с использованием унифицированных ячеек.

Исходными конструктивно законченными единицами здесь являются модели микроплат. Масштабное моделирование позволяет одновременно отрабатывать тепловые режимы, оценивать нормы электромагнитной совместимости ЭРЭ и узлов в микроблоке и т.п. В итоге апробируются все параметры за микроблока исключением механико- прочностных характеристик и герметичности.

На рис. 4 показана конструкция объемно- масштабной модели микроблока прямоугольной формы. Несущим элементом является металлическая рама 5 с установленными на ней коммутационными печатными платами 6. рамы с платами объединены в этажерочный модуль с помощью винтов 9 и втулок 10. Кожух 2 с крышкой 1 закрепляются этими же винтами.

На коммутационных платах установлены микроплаты 7, электрически объединенные непосредственно или с помощью коммутационных печатных плат. На платах установлены также корпусные ЭРЭ 8. Выводной и межплатный монтаж в МБОГ выполняется с контактных площадок коммутационных плат 11. Выводной монтаж выполняется гибким кабелем на проходную колодку 3 с избыточным коленом кабеля 4 для сохранения соединения при разъединении этажерочного модуля с кожухом. Наиболее эффективно использование в макетах

унифицированных макетных плат, коммутационная избыточность которых позволяет с хорошим масштабным приближением формировать макетные блоки.

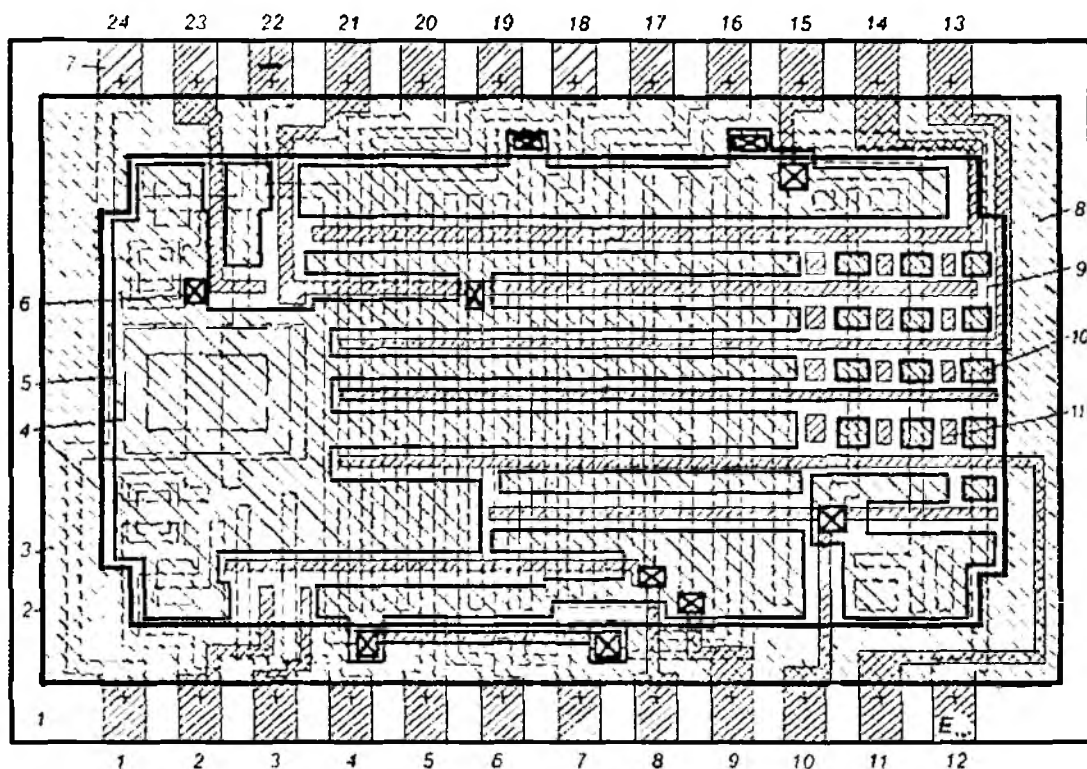


Рис. 2

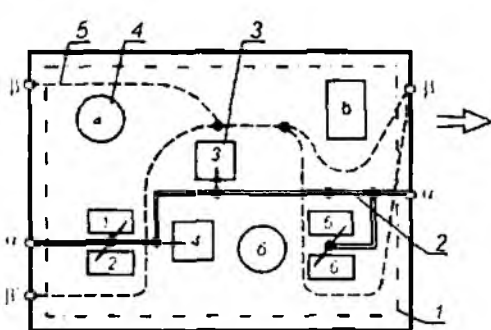


Рис. 3

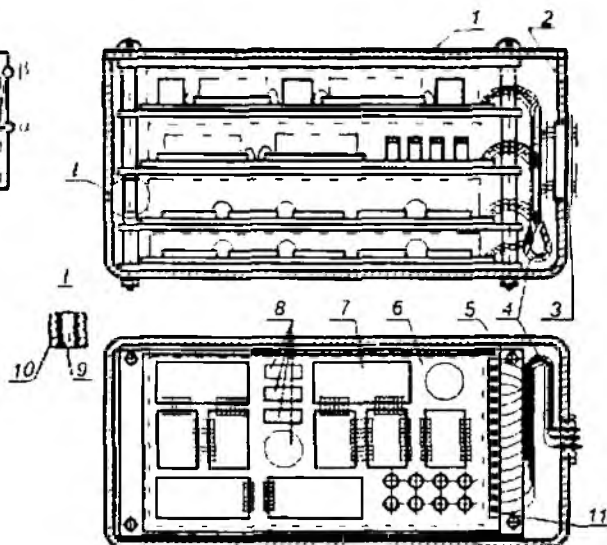


Рис. 4

Для оценки правдоподобия моделирования микроблока вводится масштабный множитель

$$Mm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G_{i, \text{МАК}} / G_{i, \text{МБ}}) \quad (2)$$

где $G_{i,МАК}$ и $G_{i,МБ}$ – соответствующие габаритные, межплатные и другие основные размеры макета и микроблока. Критерием является укрупненная характеристика; для хорошего правдоподобия разброса Mm, i (соответствующих показателей по отдельным определяющим размерам) в пределах группы размеров $i=1,2,\dots, n$ не должен превышать 10...15 %. Использование обычных микроплат и унифицированных макетных плат с коммутационной избыточностью позволяет формировать модели с $Mm = 1,5 \dots 2,5$, что является хорошим приближением к реальной конструкции микроблока. Соответственно при оценке теплового режима и электромагнитной совместимости в пределах объема микроблока по его модели следует учитывать полученный показатель Mm . Таким образом, эти характеристики для макета являются ослабленными в 1,5...2,5 раза по сравнению с рабочей конструкцией микроблока.

Для приближения к рабочей конструкции микроблока все ее несущие элементы и корпус модели изготавливаются из алюминиевых сплавов. Для плавки алюминия без предварительного покрытия рекомендуется использовать припой ПЗООА, П200А и ВПТ-4. Для микроблоков с особыми требованиями по конфигурации посадочного места модель изготавливается в приближении Mm -правдоподобия. На рис. 5 показан объемно-масштабный макет микроблока сложной конфигурации: 1 – микроплата; 2 – зона монтажа навесных элементов; 3 – крышка; 4 – корпус; 5 – стойка; 6 – втулка; 7 – винт; 8 – слой металлизации; 9 – соединитель; 10 – компенсационное колено; 11 – коммутационные струны; 12 – рамка

Корпус изготавливается фрезерованием, однако целесообразнее использовать каркас из диэлектрического материала с последующей металлизацией. Наиболее простой способ металлизации – обклейка медной фольгой. При наличии хорошей технологической базы корпус модели изготавливается методами гальванопластики с последующей опрессовкой.

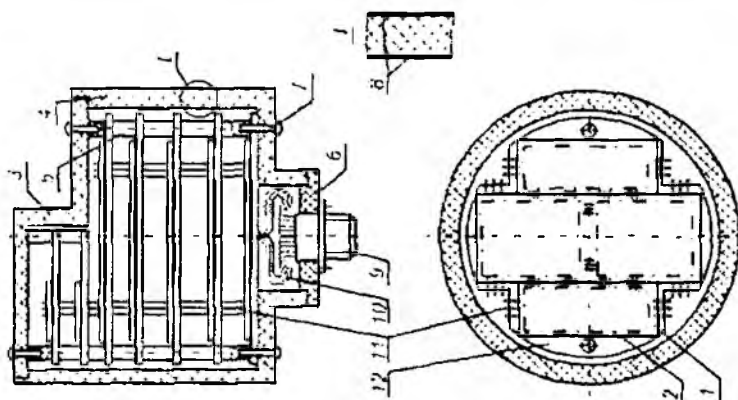


Рис. 5

Масштабное моделирование микроблоков изделий РЭА космической и специальной техники

Корпуса макетов целесообразно изготавливать фрезерованием из пресс-материалов с металлизацией толщиной не менее 5...10 мкм. Для металлизации опрессовкой (приклейкой) используется листовая фольга толщиной 25±2; 35±3; 50±5 мкм. Электролитическая медь, наносимая осаждением, должна иметь толщину 15...70 мкм. При макетировании микроблоков более или менее правдоподобный результат получается при $Mm=1$ для микроплат и $Mm = 1,2 \dots 1,5$ для корпусов и межплатных расстояний с последующим перерасчетом параметров и узлов микроблока на ее основе. Таким образом, в моделях используются микроплаты, идентичные устанавливаемым в микроблоках. Если на этом этапе моделирования оцениваются отдельные параметры корпуса, в этом случае $Mm=1$ для корпуса или секции макета. Если комплексный автоматизированный расчет микроблока невозможен или экономически малоэффективен, то в этом случае необходимо оценочное моделирование микроблока. Реально масштабное моделирование микроблоков с $Mm = 5 \dots 10$. Как следует из самого характера уравнений, описывающих электромагнитное поле, электродинамические процессы в замкну-

том объеме при соответствующем строгом подборе материалов и строгой выдержке размеров входящих узлов для данного Mt , которые являются инвариантными к масштабным изменениям. Наибольшая трудность при данном способе моделирования состоит в подборе соответствующих материалов конструкции макета, обеспечивающих равномерность моделирования.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Микроблоки являются принципиально новым видом конструкторского исполнения изделий РЭА повышенной надежности, высокого уровня интеграции и более гибким развитием методов гибридной микроэлектроники.

2. При разработке микроблоков особое внимание уделяется их моделированию, что повышает качество разработок, позволяет скорректировать конструкторско-технологическое и схемное решение и сократить цикл разработки изделия в целом.

3. Моделирование микроблоков целесообразно проводить на корпусных аналогах бескорпусных элементов, дополняя его соответствующими тепловыми расчетами.

4. Моделирование микроблоков изделий РЭА, в т.ч. космической и специальной техники вызвано наличием критических режимов работы их электрических схем и оптимизацией схемного, конструкторского решения и проходит в несколько этапов.

5. Разработанная методика моделирования предусматривает определенный порядок, в т.ч. расчет электрической схемы, разбиение схемы микроблока на конструктивно законченные части, поочередное или групповое моделирование микроплат микроблока, а также разработку объемного макета микроблока.

6. При разработке микроблоков изделий РЭА, в т.ч. космической и специальной техники особое внимание уделяется строгому подбору материалов и строгой выдержке размеров входящих узлов для данного Mt , которые являются инвариантными к масштабным изменениям.

Список литературы: 1. *Конструирование и расчет больших гибридных интегральных схем, микросборок и аппаратуры на их основе* / Г.В.Алексеев, В.Ф.Борисов, Т.Л.Воробьев и др.; Под ред. Б.Ф.Высоцкого. М.: Радио и связь, 1981. 216с. 2. *Варламов Р.Г.* Компоновка радиоэлектронной аппаратуры. 2-е изд. М.: Сов. радио, 1975. 352с. 3. *Ермолаев Ю.П., Пономарев М.Ф., Крюков Ю.Г.* Конструкции и технология микросхем / Под ред. Ю.П. Ермолаева. М.: Сов. радио, 1980. 256с. 4. *Пономарев М.Ф.* Конструирование и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА. М.: Радио и связь, 1982. 288с. 5. *Замирец Н.В., Котух В.Г., Шур В.А., Алтухова Т.Л.* Технологическая концепция лазерной герметизации радиоэлектронных модулей в корпусах из алюминиевых сплавов // *Технология приборостроения*. 1996. №1. С 54-57.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 11.04.2008