

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОПОМЕХ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ И МИКРОСХЕМЫ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

При воздействии современных средств радиоэлектронной борьбы плотность потока мощности воздействующих на радиоаппаратуру электромагнитных помех (ЭМП) может достигать 10^5 Вт/м² и выше. Применение традиционных методов экранирования и фильтрации позволяет значительно снизить уровни ЭМП, но на сигнальных проводах, шинах питания и заземления уровни наводок могут достигать сотен милливольт и даже нескольких ватт, чего достаточно для наступления обратимых сбоев. Анализ работы цифровых и аналоговых микросхем показал, что для нарушения их работоспособности достаточно мощности ЭМП единиц-десятков милливольт, а в особо чувствительных аналоговых схемах – сотни микроватт. В связи с этим при проектировании радиоаппаратуры вопрос восприимчивости полупроводниковых приборов (ПП) и интегральных микросхем (ИМС) к воздействию ВЧ и СВЧ ЭМП необходимо учитывать уже на стадии выбора элементной базы. Стоимость же решения вопросов обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) значительно возрастает на более поздних этапах проектирования. На стадии испытаний готового изделия нужно вкладывать большие средства в разработку экранов, фильтров и т. д.

Тема исследования восприимчивости ПП и ИМС к воздействию ЭМП не нова. Работы по этой тематике были начаты в рамках министерства обороны США и СССР в 80-х годах прошлого столетия [1] и были одно время закрытыми. В настоящее время активные исследования в этой области ведутся российскими и зарубежными учеными, проводятся научные симпозиумы, методики проведения испытаний на восприимчивость ПП и ИМС к воздействию ЭМП стандартизированы.

Проведенные на первом этапе исследования показали, что при оценке восприимчивости отдельных ПП и логических элементов (ЛЭ) целесообразно применять метод прямого введения мощности ВЧ и СВЧ помехи в цепь исследуемого элемента [2]. Результаты эксперимента позволяют учесть все особенности влияния ЭМП на ПП и ИМС и отразить это в расчетных моделях. Ранее были разработаны модели влияния радиопомех на простейшие элементы: диоды, ЛЭ. При оценке же восприимчивости блоков и устройств целесообразно проводить испытания с использованием *ТЕМ*-камеры. При этом перед экспериментом проводится предварительное расчетное моделирование влияния ЭМП на элементы и устройства. Это позволяет значительно сократить затраты времени и средств. Используя для построения моделей библиотеку простых моделей, можно прибегать к проведению эксперимента только на стадии испытаний законченного блока или устройства.

Моделирование более сложных устройств и ИМС сопряжено с рядом трудностей. Первая – секретность информации. В [3] описаны результаты моделирования ИМС и отмечается, что для этого потребовались определённые данные от разработчиков, Получение такой информации не всегда возможно. Уменьшение затрат за счёт схемотехнического моделирования всё же требует поиска оптимального подхода к этому вопросу. Вторая трудность – значительная сложность вычислений при подробном описании.

Существует целый ряд программ схемотехнического моделирования, и практически все они созданы на основе программы *SPICE*, предназначенной для описания электрических цепей, расчета во временной и частотной областях и для анализа переходных процессов. Главная трудность подробного схемотехнического моделирования микросхем – отсутствие в свободном доступе принципиальных электрических схем, тем более с физическими параметрами пассивных и активных элементов. Моделирование сложных интегральных схем связано с обработкой больших объёмов данных и значительными затратами машинного времени, что вызвано огромным количеством элементов схемы.

IBIS-модели описывают в табличном виде входные и выходные вольт-амперные характеристики ИМС, время нарастания и спада выходных сигналов, входное и выходное сопротивление микросхемы с учетом влияния параметров корпуса, паразитных емкостей и индуктивностей. *IBIS* модели не описывают ее внутреннее устройство и логику работы. За счет простоты моделей обеспечиваются в десятки раз меньшие затраты машинного времени при анализе переходных процессов по сравнению со *SPICE* моделями.

ICEM – это модель излучения микросхемы. Предназначена для моделирования излучения ЭМП на уровне печатных плат. Также может использоваться для моделирования кристалла интегральной схемы или её функционального блока.

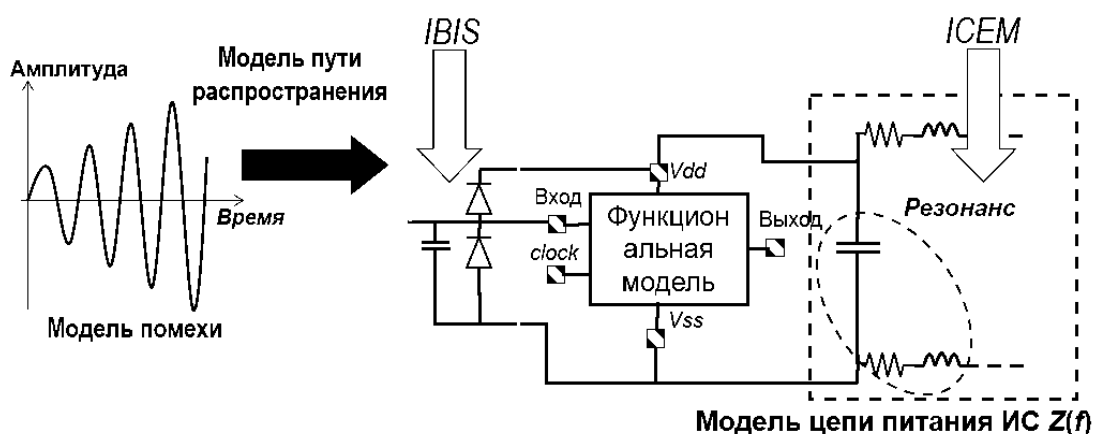


Рисунок 1 – Структура модели, используемой для моделирования восприимчивости ИМС к воздействию ВЧ помех

Анализ известных подходов к моделированию показывает, что при расчёте удобнее разбивать модель на составные части: ядро, корпус, цепи питания и входные/выходные цепи. На основе упомянутых моделей была создана модель для расчетной оценки восприимчивости ИМС к ЭМП. На

рисунке 1 представлена общая структура предлагаемой модели. Имеет смысл использовать фрагменты моделей электромагнитного излучения (*ICEM*) той же микросхемы. В основе этого довода лежит принцип взаимности, который применительно к интегральным схемам заключается в том, что наибольшая восприимчивость микросхем к воздействию ЭМП наблюдается на частотах с максимальными уровнями паразитных излучений [4]. Для описания входных/выходных цепей используются *IBIS* модели. Для контроля сбоев необходима функциональная модель, а также некоторый критерий сбоя, который зависит от конкретного приложения. Таким образом, нет необходимости в подробных данных о внутренней структуре микросхемы, что позволяет рассматривать её как чёрный ящик.

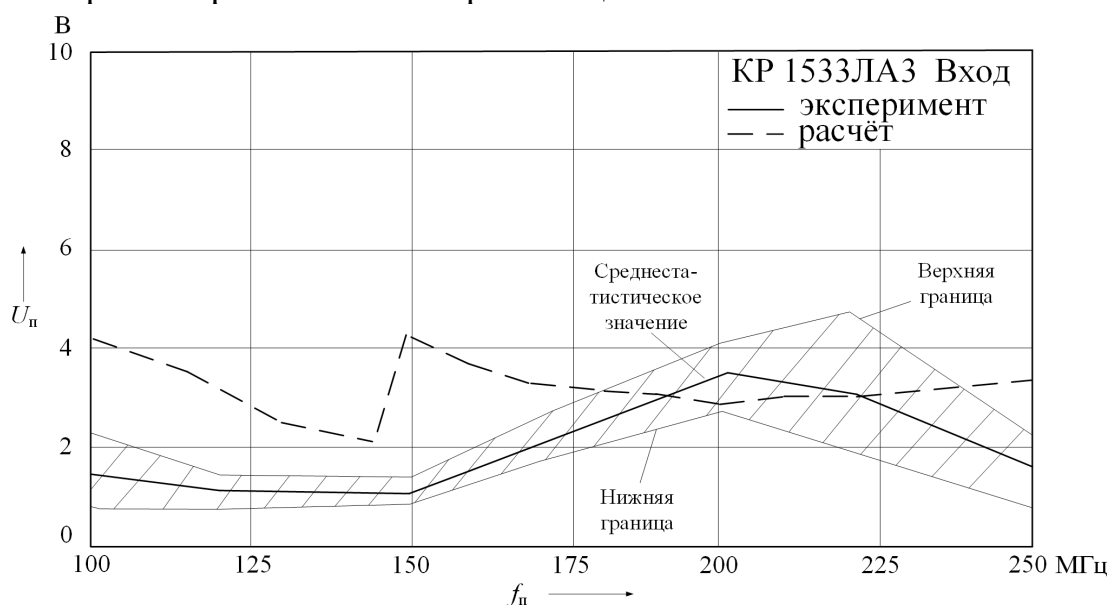


Рисунок 2 – Результаты моделирования и измерений порога восприимчивости ИМС КР1533ЛА3 по критерию «достоверного сбоя».

По описанной выше методике проведен расчет восприимчивости микросхемы КР1533ЛА3 к воздействию ЭМП. Выделена модель входных/выходных цепей, построенная на основе *IBIS* модели, модель цепи питания, построенная по описанным в стандартах методикам, функциональная модель, которая представляет собой таблицу истинности и модель испытательной установки, которая построена согласно условиям эксперимента. Расчет проводился по критерию «достоверного сбоя» [2]. Наиболее вероятным является воздействие ВЧ помехи по тем цепям ЛЭ, которые подключены непосредственно к выводам ИМС и к проводникам и шинам печатной платы. В данном случае помеха подавалась на вход ЛЭ КР1533ЛА3. Результаты расчётов и экспериментальных исследований приведены на рисунке 2. Изображены среднестатистические значения порога восприимчивости (средняя кривая), а также их максимальные и минимальные значения. Полученные расчётные данные имеют хорошее качественное совпадение с результатами эксперимента. Некоторые расхождения имеют место из-за неточностей моделирования элементов экспериментальной установки, в частности паразитных параметров измерительной камеры.

При проведении расчётов было замечено, что подтверждаются общие тенденции, выявленные при различных исследованиях: устойчивость к помехам увеличивается с ростом частоты ЭМП, поведение кривой сложное. В целом расчётные данные для ИМС КР1533ЛА3 хорошо согласуются с данными проведённых ранее экспериментов. Прежде, чем рекомендовать данную методику оценки восприимчивости для разработчиков важно в ходе дальнейших исследований уточнить модели ИМС других серий с целью получения результатов расчетов близких к данным экспериментов. Также необходимо опробовать методику на более сложных микросхемах, таких как ПЛИС, микроконтроллеры и др.

Список литературы

[1] Бригидин, А. М. Влияние электромагнитных помех на работоспособность полупроводниковых приборов и интегральных схем (обзор)/ А. М. Бригидин, Н. А. Титович и др. //Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, стандартизация метрология, испытания. Сер. 6. Материалы. Вып.1 (148), 1992. –С. 3-13.

[2] Титович Н.А., Ползунов В.В. Исследование восприимчивости полупроводниковых приборов к воздействию электромагнитных помех // Журнал «Доклады БГУИР», 2015, №1, с.114-118.

[3] Титович, Н. А. Моделирование воздействия радиопомех на логические элементы. / Н. А. Титович // 6-й международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии: материалы симпозиума – Санкт-Петербург, 2005. –С.220-223.

[4] Титович Н.А., Теслюк В.Н. Совместное решение задач обеспечения электромагнитной совместимости и защиты информации. // XI Белорусско-российская научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации», 5-6 июня 2013 г., Минск. Минск: БГУИР, 2013, с.78.

Titovich N.A., Tesluk V.N., Tarasenko V.A.

Simulation of the effects of radio interference on semiconductor devices and microcircuits.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. *Minsk, P.Brovka str., 6, 220013, Belarus*

The simulation of the effect of high-frequency noise on the parameters of digital circuits. A model was used with a breakdown of the elements of the microcircuit into its component parts: the core, the housing, the signal circuits, and the power supply circuit. The calculation results coincide with the experimental data. The received results provide the basis to use model of the given elements for an estimation of a susceptibility of more complex microcircuits to influence of a radio-interference.

Титович Н.А., Теслюк В.Н., Тарасенко В.А.

Моделирование воздействия радиопомех на полупроводниковые приборы и микросхемы.

Проведено моделирование воздействия высокочастотных помех на параметры цифровых микросхем. Использована модель с разбиением элементов микросхемы на составные части: ядро, корпус, сигнальные цепи и цепи питания. Результаты расчетов совпадают с данными экспериментов. Полученные результаты дают основание использовать модели данных элементов при оценке восприимчивости к воздействию радиопомех более сложных микросхем. Ил.2. Лит.4.