

ложительных ионов в начальный момент времени предполагается равной нулю. Начальный электрический потенциал на катоде равен 15 кВ.

#### *Литература*

1. **Пискун Г.А.**, Компьютерное моделирование процесса развития электростатического разряда в COMSOL MULTIPHYSICS / Г.А. Пискун, О.А. Кистень // Сборник материалов 4-ой международной научно-технической конференции «Приборостроение-2011». – Минск : БНТУ, 2011. – 3С. 378 – 379.
2. **Пискун Г.А.**, Математическое описание развития электростатического разряда в газовой среде в программном пакете COMSOL MULTIPHYSICS / Г.А. Пискун, О.А. Кистень // Сборник материалов 4-ой международной научно-технической конференции «Приборостроение-2011». – Минск : БНТУ. – С. 380 – 381.
3. **ESD** protected power amplifier design in CMOS for highly reliable RF ICs / A. Wang [et al.] // IEEE Journals & magazines. – 2011. – Vol. 58, № 7. – P. 2736–2743.
4. **Interaction** between electrostatic discharge and electromigration on copper interconnects for advanced CMOS technologies / D.K. Kontos [et al.] // Proc. of the Int. Reliability Physics Symp. – 2005. – P. 91–97.
5. **Алексеев, В. Ф.** Задание граничных условий в COMSOL Multiphysics при моделировании воздушного разряда / В. Ф. Алексеев, Г. А. Пискун, О. А. Кистень // Сборник материалов 5-ой Международной студенческой научно-технической конференции «Новые направления приборостроения». – Минск : БНТУ, 2012. – С. 306.

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СРЕДСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

***В.Ф. Алексеев, А.В. Бужинский, Г.А. Пискун, И.Н. Богатко***

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ПИКС, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2932207  
E-mail: alexvikt@bsuir.by*

Abstract. Approaches to ensure the functioning of the safety of medical electronics under the influence of powerful electromagnetic pulses.

Обеспечение функциональной безопасности средств медицинской электроники (СМЭ) требует решения следующих задач:

- разработки структурной электрофизической модели СМЭ для определения уровней электромагнитных помех на входах электронных блоков;
- создания новых эффективных методов оценки влияния мощных электромагнитных импульсов на основе применения параметрических макромоделей и методов приближенного расчета эквивалентных схем большой размерности для крупногабаритных СМЭ повышенной сложности;
- развития теории заряжения материалов СМЭ, учитывающей сток и перераспределения заряда за счет радиационной электропроводности полимерных материалов внешней поверхности медицинской аппаратуры;
- исследования и разработки методов и средств компьютерного моделирования процесса растекания токов по корпусу СМЭ;
- разработки методов и средств обеспечения функциональной безопасности СМЭ при воздействии мощных электромагнитных импульсов естественного и искусственного происхождения;

- разработки теории взаимодействия мощных электромагнитных импульсов (ЭМИ) естественного и искусственного происхождения со средствами медицинской электроники.

Анализ состояния исследований в предметной области показывает, что в настоящее время практически невозможно провести сравнение научных и практических результатов в этой области полученных в Республике Беларусь с существующими аналогами в США и Европе. В последние годы ученые западных и европейских стран практически перестали публиковать результаты своих исследований по вопросам моделирования воздействия мощных электромагнитных помех (МЭМП) на микроконтроллеры и интегральные схемы. Это диктуется, прежде всего, конкуренцией, так как более 25% всех отказов СМЭ, работающих в условиях МЭМП, обусловлены именно поражающими факторами ЭМИ.

Целесообразным представляется проведение различных НИР по разработке и внедрению аппаратурного комплекса для проведения автономных испытаний, регистрации, обработки и хранения информации, получаемой на всех этапах проведения испытаний на подтверждение помехозащищенности СМЭ от воздействия МЭМП. В основе этих испытаний должна лежать имитация действия ЭМИ на СМЭ.

Наиболее часто необратимые отказы СМЭ вызывает такое явление, как электростатический разряд (ЭСР). ЭСР возникает при освобождении заряда, который может достигать десятков тысяч вольт. Такой разряд выводит из строя микроконтроллеры, интегральные микросхемы и другие ИЭТ, которые год от года становятся все меньше по топологическим размерам и становятся все восприимчивей к перенапряжениям. Наибольшее развитие сейчас получили микросхемы, выполненные по КМОП технологии. Они имеют ряд преимуществ – симметричные пороги переключения в логические уровни, нефиксированное напряжение питания, совместимость с ТТЛ уровнями, высокое быстродействие из-за уменьшения толщины подзатворного окисла. Но именно эти микросхемы наиболее восприимчивы к электростатическому разряду – структура затвор–оксид–подложка представляет собой конденсатор с очень тонким диэлектриком, который легко пробивается при перенапряжении. Отсюда возникает необходимость защиты цифровых микросхем от ЭСР. Причем схемотехническая защита аппаратуры применяется на всех уровнях – микросхемы имеют встроенную защиту, но наряду с ней в аппаратуре применяются дискретные схемы защиты от перенапряжений. Только такой подход позволяет защитить цифровые микросхемы от необратимых отказов.

При разработке аппаратуры, работающей в заданной электромагнитной обстановке трудно оценить поведение элементной базы и устройств в целом при воздействии дестабилизирующих факторов. Для этого нужно проводить натурные испытания опытных образцов. Но экономически намного целесообразней проводить моделирование таких воздействий, как ЭСР, и уже на этапе проектирования аппаратуры вводить необходимые внешние средства защиты. В программах схемотехнического моделирования модели цифровых микросхем не имеют описания встроенных в них средств защиты от высоковольтных перенапряжений. Поэтому для моделирования воздействия ЭСР необходимо создать такие модели встроенных средств защиты. Модели этих средств защиты, включенные в модели некоторых микросхем, позволят проводить виртуальные эксперименты по воздействию ЭСР на элементную базу и на аппаратуру, в которой она применяется.

При моделировании воздействия электростатического разряда (ЭСР) на СМЭ важнейшим этапом проводимой НИР должен стать синтез структурной электрофизической модели растекания токов по корпусу средства медицинской электроники, основанный на представлении конструкции СМЭ в виде эквивалентной схемы из  $R$ ,  $L$  и  $C$  элементов, позволяющей определять уровни МЭМП на входах электронных блоков. Использование такой модели для конкретных аппаратов сложной конструкции требует разработки новых

эффективных методов компьютерного моделирования с применением параметрических макромоделей [31].

Имитация электромагнитного импульса, возникающего при электростатическом разряде, в этом случае осуществляется с помощью испытательного генератора помех. Также, необходимо разработать методику проведения испытаний воздействия ЭСР на СМЭ с помощью генератора и скомпоновать все в единый комплекс, обеспечивающий не только сам процесс испытания, но также обработку и хранение информации, получаемой на всех этапах. При этом основной задачей ставится подтверждение того, что аппаратура защищена от воздействия электростатических разрядов и возникающие электромагнитные помехи не вызовут сбоев в ее работе. Однако во многих случаях это не так. Поэтому необходимо проводить моделирование электромагнитной обстановки на поверхности СМЭ в условиях протекания электростатических разрядов и затем пытаться оценить уровни возникающих помех на входах аппаратуры.

В последнее десятилетие к проблеме ЭСР добавилась проблема обеспечения стойкости и функциональной безопасности СМЭ в условиях мощных дестабилизирующих воздействий естественного и техногенного характера. Кроме традиционных мощных электромагнитных воздействий в виде молний, становится все более актуальным учет преднамеренных электромагнитных воздействий, которые являются новым фактором криминальных и террористических угроз безопасности, результатом применения оружия направленной энергии. Это объясняется новейшими достижениями в области генерации и излучения сверхмощных широкополосных электромагнитных полей, появлением угроз электромагнитного терроризма, повышением требований к защищенности ответственной информации, снижением чувствительности быстродействующих систем, наличием протяженных кабельных сетей и других факторов. Результаты исследований в ведущих странах мира показывают, что эту угрозу следует оценивать как долговременную, требующую принятия адекватных защитных мер. В противном случае неизбежно нарушение функциональной безопасности, преодоление порога стойкости электроники и выход ее из строя.

Требования по обеспечению стойкости аппаратуры к действию электромагнитных возмущений являются неотъемлемой частью проектов и конструкций СМЭ. В настоящее время отсутствуют методы разработки СМЭ, учитывающие воздействие всей совокупности дестабилизирующих электромагнитных воздействий на характеристики стойкости и функциональной безопасности электронной аппаратуры. Воздействия электромагнитных импульсов на средства медицинской аппаратуры могут изменять характеристики радиоэлектронных компонентов и поэтому их показатели надежности могут отличаться от показателей, полученных с помощью расчета стандартными методами.

В основе методов проектных исследований надежности СМЭ могут лежать аналитические модели, построенные с использованием теории однородных Марковских процессов. Сопоставление их с методами, развиваемыми учеными ведущих зарубежных фирм, таких как Relex Software Corporation, BQR Reliability Engineering Ltd., Reliasoft Corporation, A.L.D. Group, которые наряду с аналитическими методами используют методы имитационного моделирования, показывают, что здесь у нас есть определенное отставание.

Обычно методы имитационного моделирования в рамках расчётов показателей надежности используются при «двоичной» оценке состояния СМЭ: «работоспособное» или «не работоспособное». Однако, если требуется оценить не только вероятность безотказной работы, но и среднюю наработку, то это требует проведения дополнительных расчётов для численного интегрирования функции распределения. При этом инженеру весьма трудно оценить число повторных расчётов, обеспечивающих приемлемую точность оценки средней наработки.

Указанная проблема может быть решена, если учесть специфику электронных модулей 1-го уровня и способов резервирования СМЭ, состоящую в том, что практически любые «структуры произвольного вида» (схемы расчёта надёжности) могут быть представлены в виде иерархии ограниченного числа «типовых» резервированных групп. Это позволяет строить модели надёжности только для подмножества резервированных групп, что существенно сокращает пространство возможных состояний, и как следствие, число повторных расчётов.

Специфика резервирования СМЭ позволяет находить эффективные алгоритмы для каждого типа резервированной группы и генерации модели отказов СМЭ в целом. Эффективное представление унифицированных топологических моделей составных частей и указанных алгоритмов применимо для широкого класса способов резервирования аппаратуры.

Решение задач по обеспечению функциональной безопасности СМЭ должна носить комплексный характер. В этом случае:

1. Разрабатываемые на основе применения параметрических макромоделей новые эффективные методы формирования структурной электрофизической модели СМЭ, отличающейся большой размерностью, имеют существенную научную значимость для компьютерного моделирования.

2. Создаваемая структурная электрофизическая модель растекания токов по корпусу СМЭ при ЭСР и методика расчета электромагнитных помех, возникающих на входах электронной аппаратуры при воздействии ЭСР, имеет существенную научную значимость для теории и практики проектирования средств медицинской электроники.

#### *Литература*

1. **Брылева, О. А.** Основные механизмы повреждения микроконтроллеров вследствие влияния электростатических разрядов / О.А. Брылева, В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 2 (39). – С. 130–137.

2. **Пискун, Г. А.** Методы технической диагностики микроконтроллеров при воздействии электростатических разрядов / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, О.А. Брылева // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2013. – № 2 (39). – С. 156–163.

### **НАНОПОРИСТЫЕ МЕМБРАННЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ $Al_2O_3$ ДЛЯ БЛОКОВ ФИЛЬТРАЦИИ БИМЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Д.Л.Шиманович*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. МНЭ, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938850  
E-mail: ShDL@tut.by*

Abstract. Technological fabrication features of free membranes based on high-ordered matrices of nanostructured anodic porous alumina with open-ended pores without the barrier layer were designed. The special combined method composed of the smooth slow voltage drop at the final stage of the two-stage anodization with the cathode polarization and with the alumina chemical etching for the barrier layer thinning and removal was optimized. These membranes are promising as filters for different biomedical applications because of their manufacturability, capability of reproducing and regularity of the structure parameters.

В настоящее время особое внимание уделяется поиску новых наноструктурированных материалов, отвечающих высоким требованиям по структурно-морфологическому составу и параметрам. Актуальным и перспективным исследовательским направлением является освоение методов и технологий формирования пористых мембранных наноструктур, которые бы нашли применение в биомедицинской сфере в качестве систем для