

РАЗРАБОТКА ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ЗАТВОРЕ МДП-ТРАНЗИСТОРА ПРИ РАЗРЯДЕ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

¹Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», г. Миснк, Республика Беларусь.

Чтобы выполнить моделирование воздействия разряда статического электричества (далее – ЭСР) по *HVM*- и/или *CDM*-модели желательно иметь в распоряжении *Spice*-модель МДП-транзистора. *Spice*-модели содержат множество трудноизмеримых параметров и часто недоступны для отечественных электронных компонентов, которые до сих пор широко применяются в аппаратуре специального назначения.

В связи с этим, актуальной является разработка приближенных методик расчета порога отказа МДП-транзисторов при ЭСР по параметрам транзисторов, которые можно получить в результате измерений с помощью аппаратуры измерения электрических параметров общего назначения.

Эквивалентную схему воздействия *CDM* ЭСР на МДП-транзистор, смонтированный на печатной плате, можно упрощенно представить в следующем виде: на рисунке 1 емкость печатной платы (C_{pcb}) заряжена до напряжения ЭСР (U_{esd}).

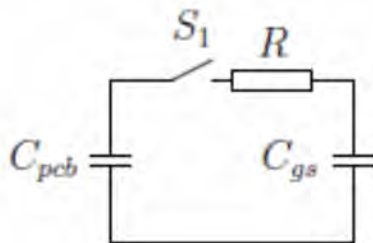


Рисунок 1 – Упрощенная эквивалентная электрическая схема воздействия ЭСР на МДП-транзистор

Замыкание ключа S_1 имитирует процесс разряда. После замыкания ключа обе емкости становятся соединены параллельно и согласно закону сохранения заряда [1] выполняется равенство (1):

$$Q = C_{pcb}U_{esd} = (C_{gs} + C_{pcb})U_{gs}. \quad (1)$$

Если после ЭСР напряжение затвор–исток превысит напряжение пробоя подзатворного диэлектрика, то ЭСР с напряжением U_{esd} будет опасно для МДП-транзистора. Таким образом, формула для вычисления опасного напряжения ЭСР запишется в виде (2):

$$U_{esd} = (C_{gs} + C_{pcb}/C_{pcb})U_{bd}. \quad (2)$$

Емкость печатной платы (C_{pcb}) можно приближенно вычислить без учета краевых эффектов по формуле для емкости плоского конденсатора, зная площадь металлизации и толщину платы (3). Диэлектрическую проницаемость стеклотекстолита, по данным [2] можно приближенно положить равной 5.

$$C_{pcb} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}. \quad (3)$$

Для изготовленной тестовой печатной платы с площадью металлизации 6000 мм^2 в результате расчетов было получено значение емкости 177 пФ , а в результате измерений 190 пФ . Таким образом, можно использовать приближенную формулу для расчета эквивалентной емкости системы печатных проводников. Достоинством данной методики расчета емкости является то, что исходные данные известны уже на этапе разработки конструкторской документации и не требуется проводить измерений.

В результате преобразований получено выражение для приближенного расчета порога отказа МДП-транзистора при *CDM ЭСР*. Данное выражение не учитывает колебательный характер переходных процессов при ЭСР. С использованием данного выражения можно рассчитывать и порог отказа МДП-транзистора при *HBM ЭСР*, подставив вместо емкости печатной платы эквивалентную емкость модели тела человека (около 150 пФ , например по данным [3–6]). Расчет по данному выражению целесообразно использовать, если *Spice*-модель для МДП-транзистора не доступна. Для выполнения расчета необходимо знать следующие параметры МДП-транзистора: емкость затвор–исток исследуемого транзистора (измеряется измерителем *RCL*-параметров любого типа) и напряжение пробоя подзатворного диэлектрика (предоставляется предприятием-изготовителем). Если напряжение пробоя подзатворного диэлектрика неизвестно, то его можно измерить при помощи регулируемого источника напряжения постоянного тока. Напряжение прикладывается к цепи затвор–исток проверяемого транзистора. Критерием пробоя подзатворного диэлектрика служит функциональный отказ транзистора.

Приведем пример расчета порога отказа МДП-транзистора *IRF510* при *CDM ЭСР* по формуле и сравним полученное значение со значением порога отказа, полученным в результате схемотехнического моделирования. Для транзистора *IRF510* было измерено значение емкости затвор исток равен 370 пФ . Емкость тестовой печатной платы равна 190 пФ . Напряжение пробоя подзатворного диэлектрика по данным фирмы–производителя равно $75 - 80 \text{ В}$. Зная вышеприведенные параметры, подставим их в выражение (3) и получим напряжение порога отказа МДП-транзистора, при *CDM ЭСР* с печатной платой:

$$C_{pcb} = \frac{370n\Phi + 190n\Phi}{190n\Phi} 80B \approx 236B.$$

В результате моделирования мы получили значение порога отказа 250 В . Имеется расхождение между результатами расчетов по выражению (3) и моделирования, которое в процентах составляет:

$$\delta = \frac{U_{esdm} - U_{esd}}{U_{esdm}} \cdot 100\% = \frac{250B - 236B}{250B} \cdot 100\% = 5,6\%.$$

Порог отказа занижен относительно полученного при моделировании. Такое расхождение является приемлемым для практических расчетов, с учетом того, что разброс пробивного напряжения подзатворного диэлектрика сам по себе достигает $5 - 10\%$ по данным. Окончательный результат о корректности разработанной расчетной методики можно будет получить после выполнения экспериментальной проверки, которая заключается в том, что МДП-транзисторы, установленные на печатных платах, подвергаются *CDM ЭСР* тестам. В результате экспериментов можно будет сравнить порог отказа, полученный в результате моделирования и в результате экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника. Справочное руководство / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с.
2. Гуртов, В.А. Твердотельная электроника / В.А. Гуртов. – М.: Изд. «Техносфера», 2008. – 478 с.
3. The Impact of ESD on Microcontrollers / Gennady A. Piskun, Viktor F. Alexeev, Sergey M. Avakov, Vladimir E. Matyushkov, Dmitry S. Titko ; Edited by PhD, Associate professor Viktor F. Alexeev. – Minsk : Kolorgrad, 2018. – 184 p. – ISBN 978-9857-148-40-0.
4. 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.
5. 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.
6. Пискун, Г. А. Распределение температуры в токоведущих элементах интегральных схем при воздействии электромагнитного импульса длительностью до 2-х наносекунд / Г. А. Пискун, В. Ф. Алексеев, А. А. Денисов // Электронный депозитарий научных изданий БелИАС. – 2018. – №Д201805 от 05.01.2018.