

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА ТРАНЗИСТОР С УЧЁТОМ ЁМКОСТИ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА

А.А. Дроздова, И.И. Николаев, аспиранты

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, anastasiya.drozдова.00@list.ru*

Выполнено моделирование воздействия электростатического разряда на биполярный и полевой транзисторы с учётом влияния ёмкости печатной платы и посадочного места. Выявлено, что посадочное место влияет на величину воздействующего напряжения. Показано, что для транзистора IRFZ46N напряжение, при котором происходит пробой, уменьшилось на 200 В, а для транзистора BFU590G напряжение база–эмиттер увеличилось в 9,5 раза.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электростатический разряд, транзистор, напряжение пробоя.

Высокая чувствительность современных радиоэлектронных средств (РЭС) к электростатическому разряду (ЭСР) приводит к возникновению в них необратимых и катастрофических отказов [1]. При моделировании на стадии проектирования РЭС необходимо учитывать всевозможные паразитные параметры, которые могут приводить к нежелательным последствиям, в т.ч. при воздействии ЭСР. Одними из распространенных и чувствительных к ЭСР компонентов в РЭС являются транзисторы. Так, в работе [2] исследуется влияние значений ёмкости печатной платы ($C_{ПП}$) на значение напряжения затвор–исток полевого транзистора и, соответственно, на отказы, связанные с его пробоем при воздействии на него ЭСР. Показано, что увеличение значения $C_{ПП}$ приводит к уменьшению воздействующего напряжения, при котором происходит пробой диэлектрика. При этом моделирование выполнено без учёта ёмкости посадочных мест, что отличает его от реальных условий эксплуатации РЭС. Таким образом, целью данной работы является моделирование воздействия ЭСР на транзистор с учётом ёмкости посадочных мест и ПП.

Создана SPICE-модель имитатора ЭСР (рис. 1, а) исходя из [3]. Выполнено вычисление формы тока на её выходе (см. рис. 1, б) при изменении напряжения от 1 до 4 кВ. Корректность созданной модели подтверждается результатами экспериментальных исследований [3].

Для моделирования выбраны биполярный (BFU590G) и полевой (IRFZ46N) транзисторы с посадочным местом для поверхностного монтажа типоразмера SOT-223 и TO-220 соответственно.

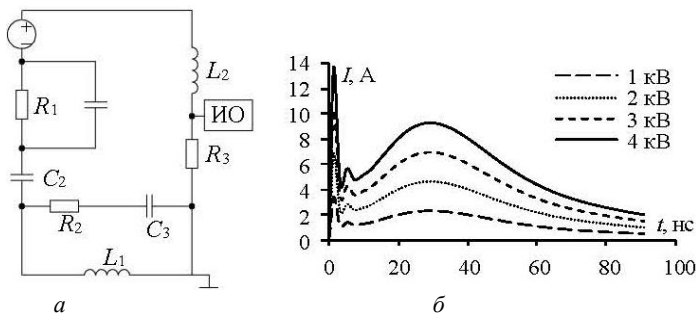


Рис. 1. Принципиальная схема имитатора ЭСР (а) и формы тока ЭСР (б) на выходе при напряжениях 1–4 кВ

В ПО TALGAT созданы квазистатические модели посадочных мест транзисторов и вычислены матрицы коэффициентов электростатической индукции. Используя вычисленные матрицы, созданы SPICE-модели посадочных мест транзисторов (рис. 2, а). На основе SPICE-моделей имитатора ЭСР (см. рис. 1, а) и посадочных мест транзисторов BFU590G и IRFZ46N (см. рис. 2, а) в ПО Qucs создана принципиальная схема для моделирования воздействия ЭСР на транзистор (см. рис. 2, б) с учётом ёмкости ПП ($C_{ПП}$) и посадочного места. В данной схеме сопротивления R_1 и R_2 необходимы для выравнивания потенциалов на электродах транзистора, а индуктивность $L_{ПП}$ и ёмкость $C_{ПП}$ позволяют учитывать характеристики ПП.

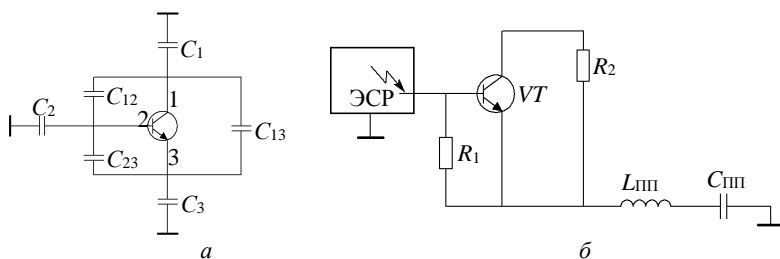


Рис. 2. SPICE-модель посадочного места транзистора (а) и принципиальная схема воздействия ЭСР на транзистор (б)

Выполнено моделирование воздействия ЭСР на транзистор без учёта ёмкости посадочного места и с его учётом при $C_{ПП} = 220$ пФ и $L_{ПП} = 19$ нГн. На рис. 3 представлены зависимости напряжений затвор–исток и база–эмиттер от напряжения ЭСР для транзисторов IRFZ46N (см. рис. 3, а) и BFU590G (см. рис. 3, б) соответственно.

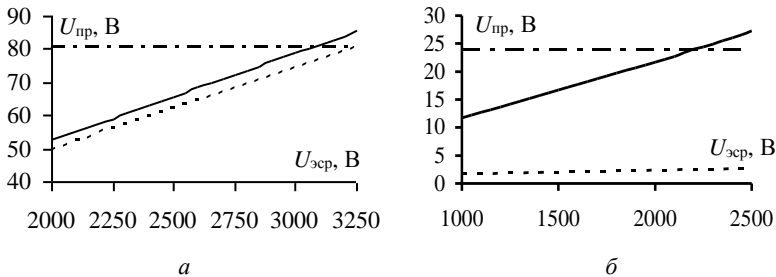


Рис. 3. Зависимости напряжений затвор–исток (а) и база–эмиттер (б) от напряжения ЭСР без учёта посадочного места (---) и с его учётом (—)

Согласно [4] напряжение пробоя подзатворного диэлектрика транзистора IRFZ46N составляет 80 В, а для BFU590G напряжение пробоя диэлектрика составляет 24 В [5]. Из рис. 3, а видно, что для транзистора IRFZ46N без учёта ёмкости посадочного места пробой происходит при воздействии ЭСР с напряжением 3,25 кВ, а с учётом – при 3,05 кВ. Для транзистора BFU590G с учётом ёмкости посадочного места пробой происходит при напряжении 2,2 кВ. Однако без учёта ёмкости посадочного места при воздействующем напряжении 2,2 кВ напряжение база–эмиттер не превышает 2,53 В.

Таким образом, выполнено моделирование воздействия ЭСР на полевой и биполярный транзисторы с учётом ёмкости посадочных мест. Выявлено, что посадочное место существенно влияет на величину воздействующего напряжения. Так, для транзистора IRFZ46N напряжение, при котором происходит пробой, уменьшилось на 200 В, а для транзистора BFU590G напряжение база–эмиттер увеличилось в 9,5 раза. Следовательно, при моделировании РЭС на стадии проектирования необходимо учитывать ёмкость посадочного места для каждого транзистора. При этом значения напряжения пробоя транзистора могут значительно отличаться от созданного посадочного места на печатной плате.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-79-10162.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кечиев Л.Н. Защита электронных средств от воздействия статического электричества / Л.Н. Кечиев, Е.Д. Пожидаев. – М., 2005. – 352 с.
2. Konstantinov U.A. Investigation of electrostatic discharge effect on high-power MOSFET-transistors considering the influence of PCB / U.A. Konstantinov, E.D. Pozhidaev, S.R. Tumkovskiy // International seminar on electron devices design and production (SED). – 2019.

3. Yousaf J. Efficient circuit and EM model of electrostatic discharge generator / J. Yousaf, J. Shin, H. Lee, W. Nah // IEEE International symposium on electromagnetic compatibility and signal/power integrity (EMCSI). – 2017. – P. 164–168.

4. International rectifier // ESD testing of MOS gated power transistors. Application note AN-986.

5. BFU590G, NXP Semiconductors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/BFU590G.pdf>, свободный (дата обращения: 23.10.2021).

УДК 621.319.74

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАЗЕМЛЕННЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ В ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Д.А. Мерзляков, студент; М.В. Храпцов, аспирант

г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, dima.merzlyakow@mail.ru

Исследовано влияние заземленных металлизированных переходных отверстий (ПО) на эффективность экранирования (ЭЭ) в печатной плате. Выполнен расчет ЭЭ при различном шаге размещения и рядности ПО. Показано, что уменьшение диаметра ПО и увеличение рядности позволяет значительно увеличить ЭЭ.

Ключевые слова: переходное отверстие, печатная плата, эффективность экранирования, электромагнитная совместимость.

Перспективные разработки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) требуют от конструкторов поиска новых технических решений, освоения эффективных приемов повышения качества, надежности и долговечности изделий. В условиях повышенного быстродействия РЭА, возрастания электромагнитных воздействий от внутренних и внешних источников как техногенного, так и естественного происхождения экранирование остается мощным методом обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) [1]. В качестве экранирования линии передачи (ЛП) могут выступать переходные отверстия (ПО), расположенные в печатных платах (ПП) и соединяющие накоротко соседние заземляющие плоскости.

В многослойных ПП полезные сигналы на ПО, пересекающих слои, обычно возбуждают волны с параллельными плоскими модами [2]. Часто необходимо предотвратить их передачу от одной части ПП к другой. И в данном случае единственным решением, позволяющим защитить сигнальные проводники от нежелательных излучений такого характера, являются металлизированные заземленные ПО. Они располагаются рядом с источником излучения либо рядом с приемни-