

**СВЧ-ЗОНДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЕЙ
ПОМЕХОЭМИССИИ ОТ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ**

В.И. Варварин, магистрант ПИИШ;

И.И. Николаев, аспирант каф. ТУ

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, viacheslav.i.varvarin@tusur.ru*

Проведено сравнение частотных диапазонов, геометрических размеров, технологий изготовления и влияния на измеряемое электромагнитное поле СВЧ-зондов, выполненных на основе магнитно-рамочных антенн для измерения уровня помехоэмиссии от печатных плат в ближней зоне. По совокупности критериев был выбран наиболее предпочтительный вариант для его использования в составе аппаратно-программного комплекса.

Ключевые слова: помехоэмиссия, СВЧ-зонд, электромагнитное поле.

Совершенствование радиоэлектронных средств (РЭС) за счет увеличения плотности монтажа печатных плат (ПП), миниатюризации и интеграции электронной компонентной базы приводит к возникновению кондуктивных и излучаемых электромагнитных помех. При этом уровень излучаемой помехоэмиссии регламентируется стандартами. Так, согласно широко применяемому международному стандарту IEC-61967-3 [1], измерение уровня помехоэмиссии в ближней зоне проводят методом поверхностного сканирования в частотном диапазоне от 150 кГц до 1 ГГц. Разработано множество аппаратно-программных комплексов (АПК): антенные сканеры EMScan [2], EM-Matrix [3], экспериментальный автоматизированный сканер [4] и т.д. Важнейшим элементом АПК являются СВЧ-зонды, выполненные на основе магнитно-рамочных антенн [5], предназначенные для измерения уровня помехоэмиссии от ПП в ближней зоне. При этом исследуемый частотный диапазон и геометрические размеры источников помехоэмиссии зависят от соответствующих характеристик СВЧ-зонда. Цель работы – выполнить сравнение частотных диапазонов, геометрических размеров, технологий изготовления и влияния на измеряемое электромагнитное поле СВЧ-зондов, на основании которого, выбрать модель СВЧ-зонда для реализации в составе АПК для измерения уровня помехоэмиссии от ПП в ближней зоне.

Известны СВЧ-зонды, выполненные на основе магнитно-рамочных антенн в виде копланарной полосковой линии (КПЛ) [6], коаксиальной линии (КЛ) с замкнутым концом [7] и полосковой линии [8] (ПЛ) (рис. 1).

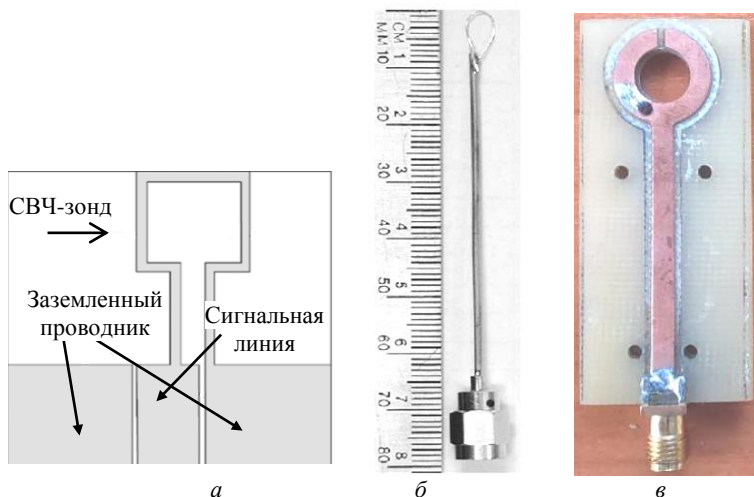


Рис. 1. Общий вид СВЧ-зонда на основе КПЛ (а) и экспериментальные макеты СВЧ-зондов на основе КЛ (б) и ПЛ (в)

Основными характеристиками СВЧ-зондов являются: его частотные характеристики; геометрические размеры; влияние на измеряемую компоненту электромагнитного поля (ЭМП), вызванное присутствием СВЧ-зонда [10]; возможность изготовления на ПП.

Из таблицы видно, что СВЧ-зонд на основе КПЛ имеет широкий частотный диапазон и изготавливается на ПП, однако он имеет неравномерную частотную характеристику $|S_{11}|$ с выраженным резонансом, что влияет на измеряемое ЭМИ [11]. СВЧ-зонд на основе КЛ имеет наименьшие геометрические размеры, что позволяет локализовать источник ЭМИ с большей точностью, но частотный диапазон не совпадает со стандартом [1]. Частотный диапазон СВЧ-зонда на основе ПЛ удовлетворяет требованиям стандарта [1] и по совокупности критериев является наиболее предпочтительным вариантом для использования в АПК для измерения уровней помехоэмиссии от ПП в ближней зоне.

Сравнение СВЧ-зондов

Тип СВЧ-зонда	Частотный диапазон	Влияние на измеряемое ЭМИ	Геометрические размеры	Изготовление на ПП
КПЛ	1 – 20 ГГц	+	10 мм	+
КЛ	2 – 10 ГГц	–	5×8 мм	–
ПЛ	150 – 1 ГГц	–	10 мм	+

Таким образом, в работе рассмотрены СВЧ-зонды, применяемые в АПК для измерения уровней помехоэмиссии от ПП в ближней зоне. Проведено их сравнение, по результатам которого, по совокупности критериев, наиболее предпочтительным для реализации в составе АПК является СВЧ-зонд, выполненный на основе ПЛ [7]. В дальнейшем планируется провести экспериментальное сравнение рассмотренных СВЧ-зондов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям, договор № 26ГУПКЭС18/91722.

ЛИТЕРАТУРА

1. Integrated circuits – Measurement of electromagnetic emissions, 150 kHz to 1 GHz. – Part 3: Measurement of radiated emissions – Surface scan method, IEC, 61967–3:2005.

2. EMxpert от 20 MHz – 1 GHz [Электронный ресурс]. – URL: http://dev.ccontrols.pl/cms/upload/content/news/EMxpert_Datasheet.pdf (дата обращения: 01.03.2024).

3. Dienot J.M. Applications for Diagnosis of Real Electromagnetic Behaviors in Hybrid Electronic Architectures / J.M. Dienot, G. Viné // 2018 5th IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace). – 2018. – P. 363–368.

4. Pfeifer S. A Novel Automated Phasor Measurement System for Validated and Traceable EMC/EMI Near-Field Analysis / S. Pfeifer, B. Kochali, E. Grobelaar // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. – 2016. – P. 41–47.

5. Whiteside H. The Loop Antenna as a Probe / H. Whiteside, R.W. King // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 1964. – Vol. 12, No. 3. – P. 291–297.

6. Gao Y. A new miniature magnetic field probe for measuring three-dimensional fields in planar high frequency circuits / Y. Gao, I. Wolff // IEEE Trans. Microw. Theory Tech. – 1996. – Vol. 44, No. 6. – P. 911–918.

7. Joseph W. The influence of the measurement probe on the evaluation of electromagnetic fields / W. Joseph, L. Martens // IEEE Trans. electromagnetic compatibility. – 2004. – Vol. 43, No. 2. – P. 339–349.

8. Экспериментальная установка для измерения электромагнитного излучения от излучающей структуры в ближней зоне / Скворцов И.В. и др. // Журнал радиоэлектроники. – 2019. – № 11.

9. Joseph W. The influence of the measurement probe on the evaluation of electromagnetic fields / W. Joseph, L. Martens // IEEE Trans. Electromagn. Compat. – 2003. – Vol. 43, No. 2. – P. 339–349.

10. Jung-Min K. Resonance-Suppressed Magnetic Field Probe for EM Field-Mapping System / K. Jung-Min, K. Woo-Tae, Y. Jong-Gwan // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2005. – Vol. 53, No. 9. – P. 2693–2699.