

## ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ РЭА

Электромагнитные излучения естественной и искусственной природы во многих случаях являются определяющим фактором, влияющим на работоспособность и надежность функционирования РЭА [1]. Основу элементной базы РЭА и вычислительных средств составляют полупроводниковые приборы, которые являются наиболее восприимчивыми к воздействию внешних электромагнитных полей. Проблема постоянно обостряется в связи с созданием в последнее время интегральных схем сверхбольшой степени интеграции на основе нанотехнологий. Обеспечение надежной работы радиоэлектронных и вычислительных устройств на основе современной элементной базы требует учета электродинамических характеристик полупроводниковых элементов при разработке аппаратуры.

Характер взаимодействия радиоэлемента с электромагнитным полем определяется как параметрами излучения - мощностью, напряженностью электрического и магнитного полей, длиной волны, длительностью в случае импульсного излучения, так и особенностями объекта, на который падает электромагнитная волна (ЭМВ) – геометрическими размерами, взаимной ориентацией элементов объекта относительно векторов электрического и магнитного полей, а также диэлектрической и магнитной проницаемостью материалов объекта. Результатом взаимодействия поля и радиоэлемента может быть возникновение электрических перегрузок, вызывающих в свою очередь временные либо устойчивые нарушения функционирования РЭА, вплоть до полного выхода ее из строя.

В основу рассмотрения процесса взаимодействия поля с объектом положена антенная модель, в соответствии с которой характерные геометрические элементы объекта представляются элементарными антеннами, нагруженными на элементы его внутренней структуры [2]. Таким образом, если в качестве объекта выступает, например, полупроводниковая интегральная схема (ИС) с длиной выводов корпуса  $l$ , схему падения ЭМВ с произвольно ориентированными компонентами векторов  $E$  и  $H$  можно представить как воздействие поля на многоэлементную дипольную антенну. При этом очевидно, что величина энергии, которая выделяется на элементах внутренней структуры ИС, определяется не только геометрическими характеристиками рассматриваемой системы, но и существенным образом зависит от схемотехнической реализации ИС.

Ввиду сложности и разнообразия конструкций и монтажа РЭА аналитическое описание процессов взаимодействия ЭМВ с РЭА можно провести лишь в самом общем случае. Вместе с тем экспериментальные исследования позволяют определить некоторые важные параметры электродинамической задачи и выбрать оптимальные элементы для проектирования.

Экспериментальные исследования электродинамических характеристик элементной базы РЭА проводились с помощью панорамного волноводного измерителя КСВ Я2Р-67. В качестве объектов испытаний выбирались полупроводниковые интегральные схемы и транзисторы различных типов, изготовленные в корпусах различной модификации (планарный, металлокерамический, пластмассовый, круглый металлостеклянный и др.).

Исследуемый радиоэлемент располагался в предварительно откалиброванном волноводном тракте на диэлектрическом основании, обеспечивающем гальваническую развязку металлического корпуса и внутренней поверхности волновода. В таком положении радиоэлемента производились измерения КСВ и коэффициента отражения волноводного тракта с расположенными внутри объектами в полосе согласования 3,5 - 4,5 ГГц и 2,8 - 3,1 ГГц с неравномерностью 0,25 дБ.

Для исследования влияния взаимной ориентации компонентов векторов поля и выводов радиоэлемента корпус его разворачивался относительно осей выбранной системы координат в волноводе. При измененном положении заново производились измерения КСВ и коэффициента отражения. На рис. 1 изображена картина размещения радиоэлемента в волноводе и характерные положения, при которых производились измерения.

На рис. 2 приведены характерные частотные зависимости КСВ (1, 2 – ИС К1НТ591 в положениях 4 и 3 соответственно, 3 – ИС К1КТ241 в положении 2, 4 – транзистор МП 26Б). Как видно, транзисторы и ИС в разных корпусах имеют существенно различные электродинамические характери-

ки. Наиболее важным является наличие резонансных частотных зависимостей КСВ и коэффициента ослабления для радиоэлементов различных типов.

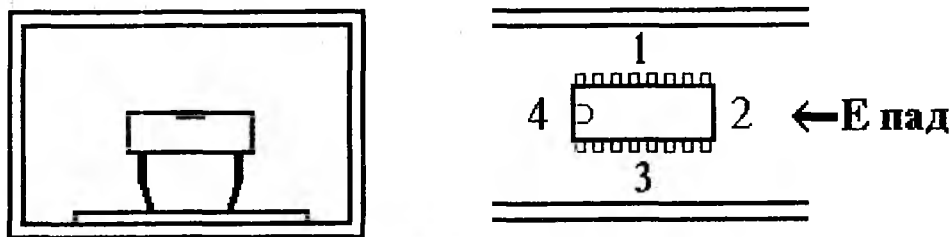


Рис. 1

Перечень рассмотренных радиоэлементов и основные результаты экспериментов приведены в таблице:

Тип корпуса	Тип радиоэлемента	Результат испытания (вид частотной характеристики)	$f_p$ , ГГц	Перепад КСВ, дБ
Металлокерамический планарный	1533ИР3	Однородная	–	0,6
Металлостеклянный круглый	К140УД16	Осциллирующая	–	0,7
	К2ЖА375	Резонансная	3,58	6,3
	К1НТ591	Однородная		
	Микросборка	Резонансная	2,3	50
Металлический	К1КТ241	Резонансная	4,16; 4,4	0,4
Пластмассовый	556РТ1	Резонансная	3,88; 4,45	0,6
	К155ИД1	Однородная	–	0,6
	К155ИЕ4	Однородная	–	0,2
	К155ИЕ6	Резонансная	3,83	0,8
	К155ИЕ7	Резонансная	–	0,4
	К155ЛР3	Однородная	–	0,2
	КМ155ИЕ2	Однородная	–	0,2
	КТ814В	Резонансная	–	0,8

Заметное влияние оказывает также ориентация радиоэлемента в волноводе. Изменение положения ИС в прямоугольном корпусе приводит как к изменению абсолютных минимумов резонансных кривых, так и к изменению значений резонансной частоты. Аналогичная картина наблюдается и для ИС в круглых корпусах, несмотря на то, что расположение выводов при повороте корпуса остается симметричным. Более того, для некоторых элементов в круглых корпусах с симметричным расположением выводов изменение ориентации приводит к принципиальному изменению частотных зависимостей (резонансная либо однородная). Такой эффект с точки зрения антенной модели можно объяснить более значительным влиянием резонансных свойств нагрузки элементарных антенн. Частоты резонансов соответствуют режиму оптимального согласования антенны с нагрузкой, при котором наблюдается эффективное “вытягивание” энергии поля падающей волны.

Более значительные флуктуации КСВ и коэффициента отражения наблюдались при испытаниях в длинноволновом диапазоне. Как видно из рис. 3 (кривая 1) размах колебаний КСВ достигает 35 дБ, что свидетельствует о существенном взаимодействии поля с объектом испытаний. С помощью последовательного исключения выводов корпуса интегральных схем определялся наиболее восприимчивый элемент схемы. Исключение соответствующего вывода приводило к значительному изменению частотной зависимости КСВ (кривая 2 на рис. 3).

Для определения энергетических характеристик воздействия излучения важно учитывать условия согласования, при которых мощность, передаваемая в интегральную схему, будет максимальной. Рассмотрим падение электромагнитной волны на электронный прибор в корпусе из проводящего материала, в котором имеются различные щели и отверстия.

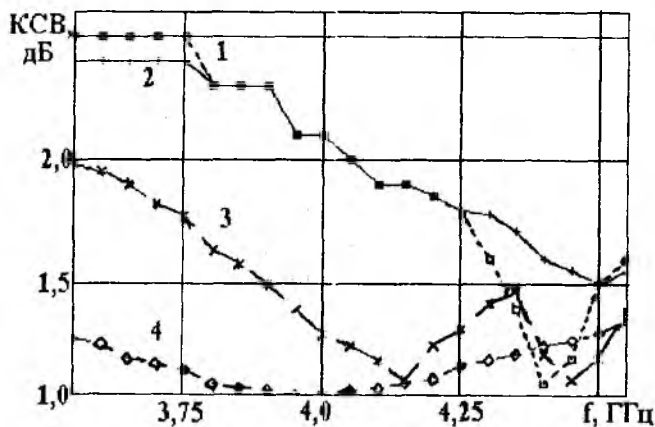


Рис. 2

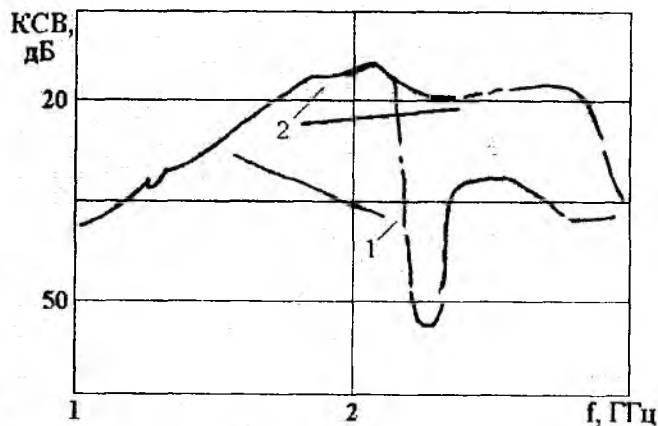


Рис. 3

Эквивалентную схему в этом случае можно представить в виде двух контуров (рис. 4). Источник энергии представляет собой первичный преобразователь падающей электромагнитной волны (например, щелевая или круговая апертура). Излучение, создаваемое этим источником, через волноведущий тракт (например, металлизация на печатной плате) попадает на нагрузку (интегральную схему). При этом передача максимальной мощности будет иметь место при согласовании тракта не с антенной, а с нагрузкой [3], т.е.  $R_H = Z_B$ . Таким образом, при анализе энергетических характеристик и результата воздействия наиболее важное значение имеет расположение и ориентация рецептора излучения (корпуса интегральной схемы).

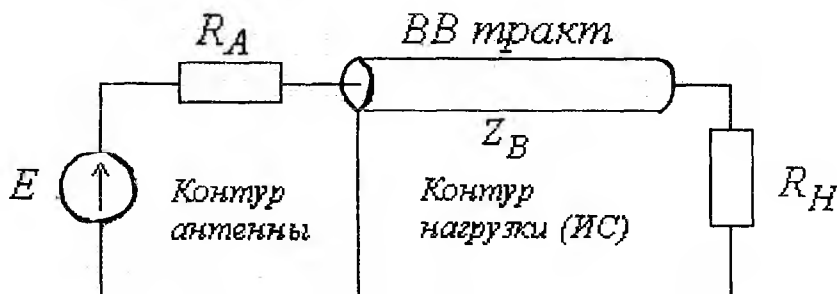


Рис. 4

Результаты проведенных экспериментов показывают, что характер взаимодействия электромагнитного излучения с элементами и компонентами РЭА в общем вписывается в рамки антенной модели. Взаимодействие излучения с полупроводниковыми элементами может иметь резонансный характер, причем резонансная частота зависит как от геометрических параметров элемента, так и от его внутренней структуры. Определение электродинамических характеристик радиоэлементов и измерение резонансных частот для различных элементов составляют дополнительные исходные данные для проектирования РЭА, удовлетворяющей условиям электромагнитной совместимости, а также позволяют проанализировать причины отказов радиоэлементов, вызванные электрическими перегрузками.

**Список литературы:** 1. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. М.: Радио и связь, 1987. 256 с. 2. Чумаков В.И. Модель воздействия электромагнитного излучения на элементную базу РЭА // Радиотехника. 1998. Вып. 106. С. 120–123. 3. Фельд Я.Н. О мощности, извлекаемой приемной антенной из падающей на нее волны // Препринт ИРЭ АН СССР, 1984, № 37 (409). 15 с.

Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 1.12.99