

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МОДЕЛИ P-I-N-ДИОДА В ПРОГРАММНОМ ПРОДУКТЕ HFSS

Тертышный О. И. студ.; Паслен В.В., доц., к.т.н., зав. каф. РТЗИ

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Развитие современных информационных технологий и инженерно-технических средств ведут к постоянному увеличению требований к специалистам. При проектировании современных радиосистем, основной задачей для инженера является максимальное соответствие рассчитываемой модели и реального устройства. Передовые системы моделирования позволяют использовать готовые модели радиокомпонентов широкого профиля, однако ни одна стандартная библиотека не может удовлетворить всем требованиям специфических разработок. В докладе рассматривается методика моделирования p-i-n-диодов в системе автоматического проектирования (САПР), позволяющая наиболее приближенно к реальным значениям, учитывать электромагнитные характеристики проектируемых устройств.

При моделировании p-i-n-диодов важнейшим параметром модели становится наиболее точная передача электрических характеристик, влияющих на электромагнитное поле. Электромагнитное моделирование в программном продукте HFSS не предполагает изменение состояний внутренних объектов структуры, поэтому важно определить статические состояния элементов схемы, работающей в динамическом режиме, p-i-n-диоды – одни из таких элементов.

По теории полупроводниковой электроники известно, что p-i-n-диод имеет слабо легированную кремниевую (беспримесную) область собственной проводимости, расположенную между высоко легированными областями p и n-типа. В случае необходимости сопротивление p-i-n-диода может регулироваться в широких пределах при помощи тока или напряжения. Поскольку граничная частота p-i-n-диодов не превышает 100 МГц, то на более высоких частотах у этих диодов проявляются свойства линейного сопротивления [1]. Так как сопротивление зависит от величины постоянной составляющей тока, то данный тип диода может использоваться в качестве ВЧ ключа, а также в качестве настраиваемого аттенюатора. Характерной особенностью этого диода является то, что его ёмкость, а следовательно, и сопротивление на высоких частотах, сильно меняется при изменении полярности приложенного напряжения. Из этого следует, что p-i-n-диод следует рассматривать, как динамическую модель. Динамические характеристики модели, в упомянутой выше среде проектирования, можно получить, имея статические отсчеты. Комбинируя и анализируя статические состояния, появляется представление о характере характеристик во временной области.

Для построения статической модели p-i-n-диодов необходимо располагать их следующими характеристиками: сопротивление в открытом состоянии (R_0) и ёмкость в закрытом состоянии (C_0). Этот необходимый базис может быть дополнен значением индуктивности выводов элемента (L_0). Эквивалентная схема закрытого и открытого диода представлена на рис. 1.

В открытом состоянии, когда ток течет в прямом направлении, диод представляет из себя малое активное сопротивление и индуктивность соединительных выводов, соединенные последовательно. В закрытом состоянии, когда протекает обратный ток, диод можно представить в виде параллельно соединенных большого сопротивления и емкости, зависящей от геометрических размеров, а также индуктивности выводов.

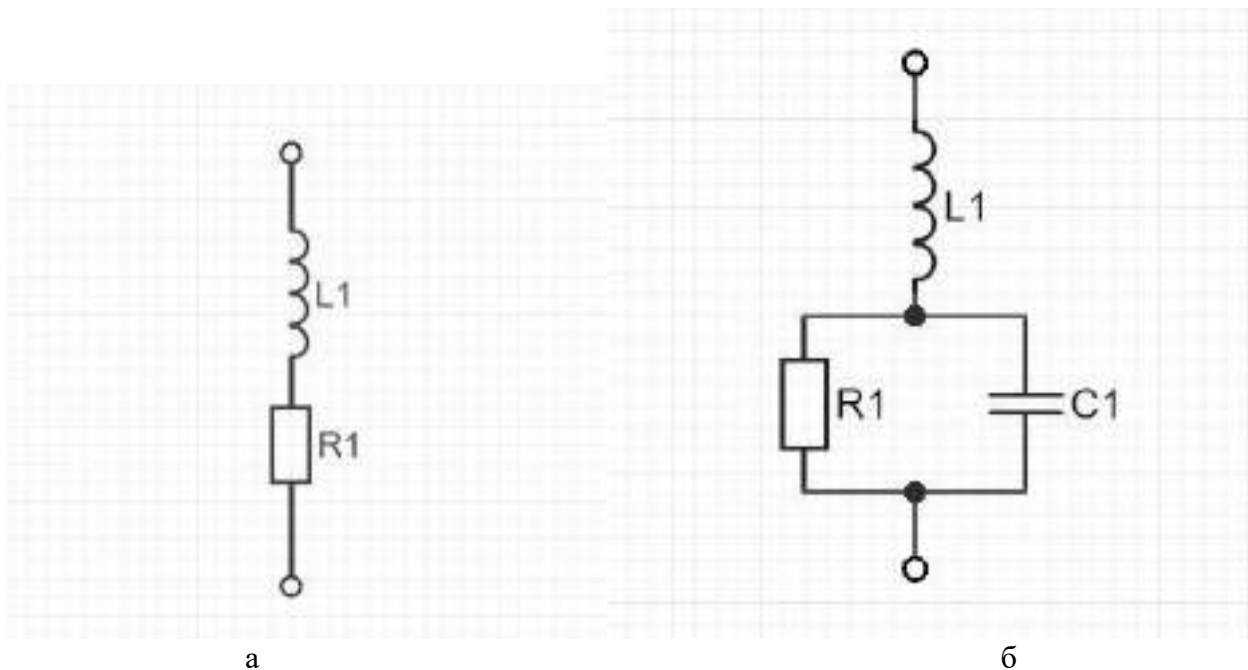


Рисунок 1 – Эквивалентные схемы р-і-п-диодов: а – открытого, б – запертого

Для расчета использовалась модель с двумя р-і-п-диодами, расположенными последовательно и четырьмя р-і-п-диодами, запертыми, расположенными параллельно. Данная схема позволяет рассмотреть влияние активного сопротивления на затухание высокочастотного сигнала, а также взаимное влияние на изолированные закрытыми р-і-п-диодами каналы.

Моделирование производилось согласно эквивалентной схеме, с использованием физических размеров р-і-п-диодов. На примере р-і-п-диодов высокой мощности МА4Р506-31 [2] была сконструирована модель, соответствующая параметрам диода, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры моделируемого диода

Наименование	МА4Р506-131
Максимальное обратное напряжение	500 V
C_0	0,7 pF
R_0	0,3 ohm
Длина	0,686 мм
Ширина	0,686 мм
Высота	0,305 мм
Диаметр анода	0,4 мм

Особое внимание уделено форме контактной площадки элемента – при моделировании полноценной высокочастотной структуры важно симитировать паразитную емкость и индуктивность, вносимую контактами соединения и пайки. При моделировании, форма р-і-п-диода составлена из двух частей, одна из которых выполняет роль индуктивности выводов, а вторая – малое сопротивление для открытого и малую ёмкость с большим сопротивлением для запертого.

На рис. 2 показана упрощенная модель в программном продукте HFSS, линия связи и порты согласованы, волновое сопротивление – 50 Ом. Рис. 3 показывает структуру модели р-і-п-диода.

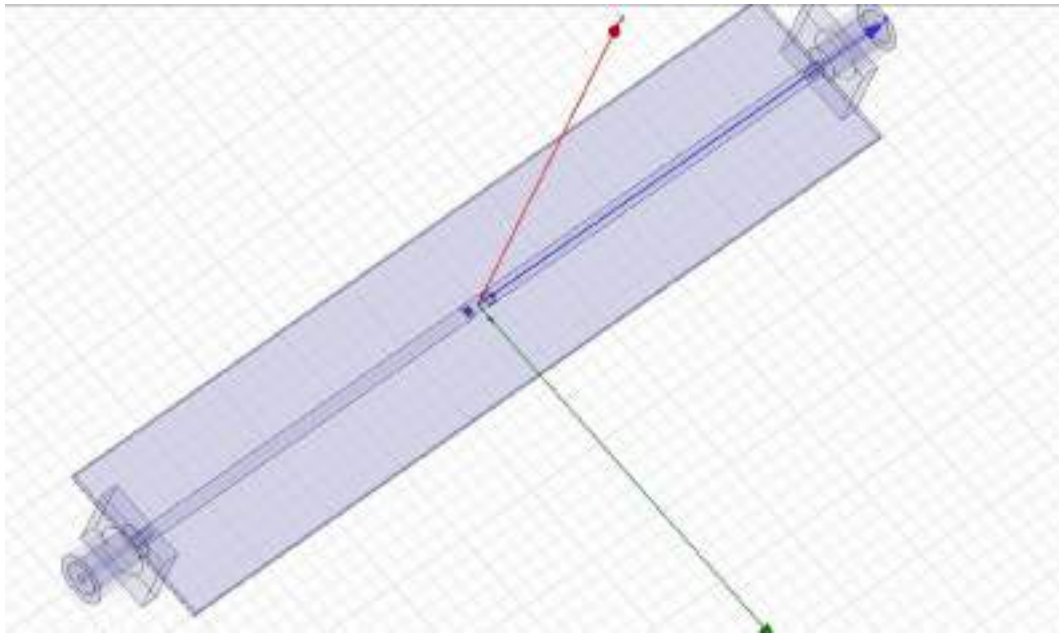


Рисунок 2 – Модель полосковой линии связи с *p-i-n*-диодом

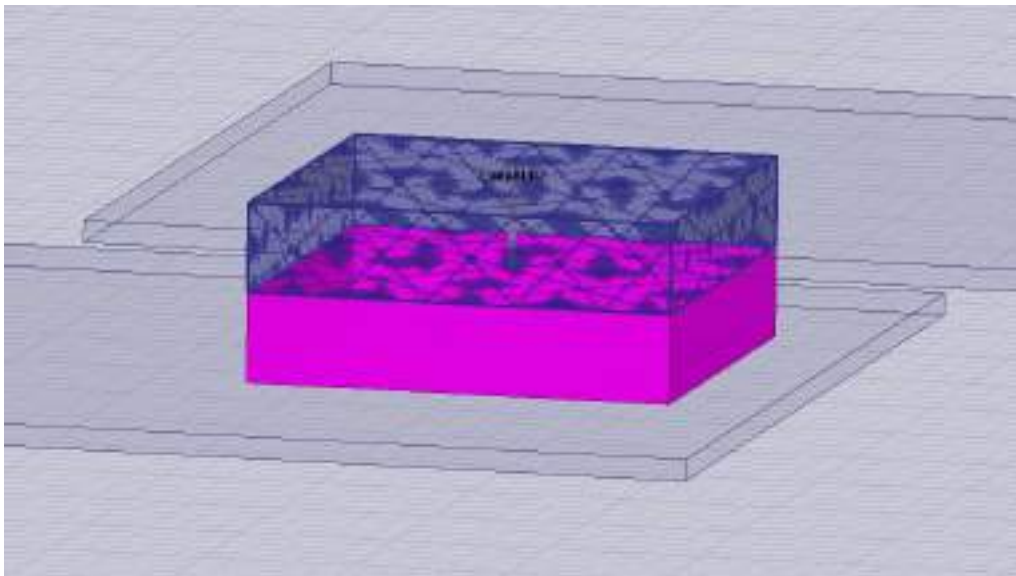


Рисунок 3 – Структура *p-i-n*-диода

Результаты моделирования, в сравнении с заявленными характеристиками *p-i-n*-диода приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты моделирования

Частота , ГГц	Заявленное затухание <i>p-i-n</i> -диода , дБ	Смоделированное затухание, дБ	Значение реального затухания, дБ
0,5	<0,3	0,27	0,25
1,0	<0,4	0,29	0,26
1,5	<0,5	0,31	0,40
2,0	<0,5	0,35	0,40
2,5	<0,7	0,40	0,40
3,0	<0,8	0,60	0,55
3,5	<0,9	0,65	0,60

Для получения реальной характеристики р-і-п-диода была разработана печатная плата, повторяющая характеристики модели. Печатная плата изготовлена из углеводородной керамики фирмы Roger (RO4002), ширина дорожек соответствует волновому сопротивлению 50 Ом, использовались коаксиальные разъемы типа SMA. Измерения проводились на частотном анализаторе SNA-12. Фото реальной модели стенда анализа представлено на рис. 4, результаты измерений показаны на рис. 5.

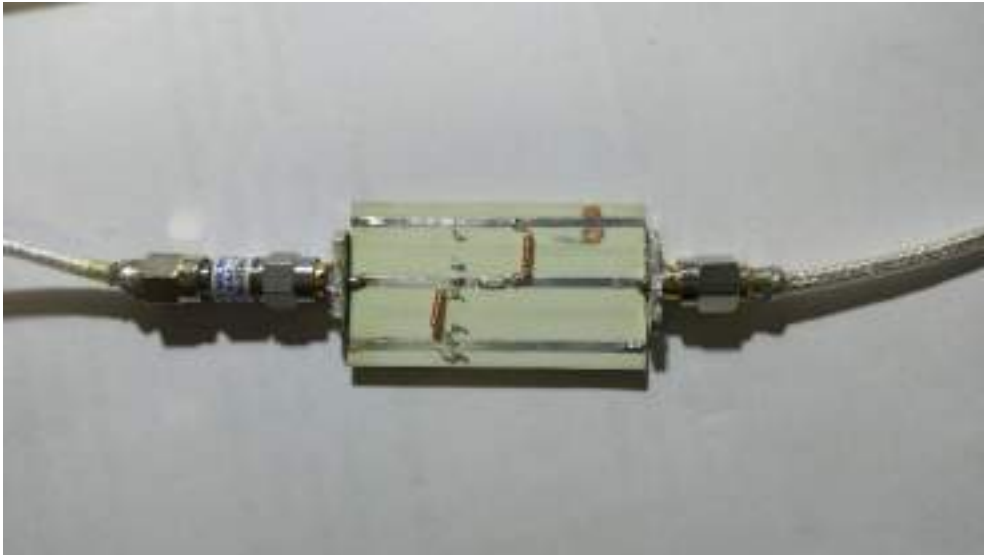


Рисунок 4 – Реальная модель стенда

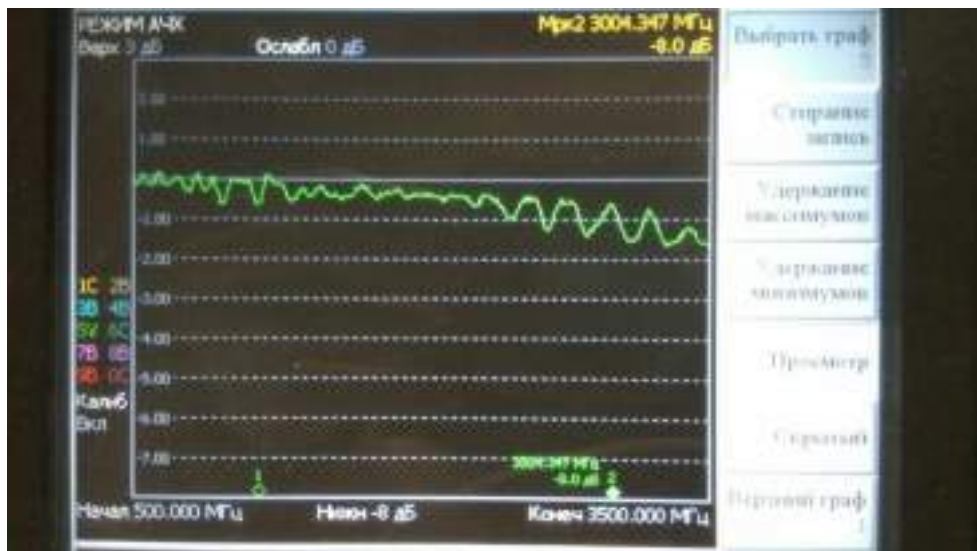


Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика реальной модели

Таким образом, САПР HFSS позволяет проанализировать виртуальную модель с большой точностью приближения характеристик к реальной модели. Это способствует, как повышению квалификации инженеров, без расходов на реальное производство, так и обучению молодых специалистов и студентов.

Перечень ссылок

1. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие / В. А. Гуртов. – ПетрГУ. – Петрозаводск, 2004. – 312 с.
2. MACOM Technology Solutions Inc. 2018. Silicon PIN Chips Rev.V23 URL: https://ru.mouser.com/datasheet/2/249/Silicon_PIN_Chips-838076.pdf