

А. АЛХАДЖ ХАСАН, мл. науч. сотр., ТУСУР, Томск

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ОПОРНОГО ПРОВОДНИКА НА ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Рассмотрено квазистатическое моделирование структуры с модальным резервированием в системе TALGAT. Вычислены параметры связанных линий передачи при разных значениях ширины опорного проводника. Проведено их сравнение с результатами для бесконечной «земли». Выявлены важные особенности исследованной структуры.

Модальное резервирование (МР) является эффективным, простым и дешёвым способом для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) и повышения надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на ранних этапах конструирования [1]. Его исследуют в системе TALGAT [2], использующей два подхода к моделированию опорного проводника (схемной «земли») печатных плат [3]. Первый подход, так называемой бесконечной «земли», основан на теории изображений и предполагает, что «земля» является идеально проводящей плоскостью. При расчёте погонных параметров многопроводной линии передачи в данном подходе учитывается вклад зарядов мнимых проводников, расположенных на расстоянии, равном высоте проводников под плоскостью «земли». Второй подход представляет «землю» конечным идеальным проводником. Для него требуются большие ресурсы, чем для первого подхода. Более того, отсутствуют конкретные рекомендации и правила, подходящие для разных структур при определении параметров проводника, имитирующего «землю». При этом его расширение должно по теории приводить к сходимости. Между тем для МР необходимо определение оптимальных параметров проводников, при которых обеспечивается модальное разложение, особенно при исследовании структур с МР и конечной «землёй» с целью изготовления их макетов с реальными параметрами (где схемная «земля» точно будет конечной в виде опорного проводника).

Цель работы – оценить влияние ширины опорного проводника на параметры структуры с МР в системе TALGAT.

Рассмотрена структура печатной платы (ПП) с МР из [4]: две связанные линии передачи длиной 1 м и шириной 0,3 мм. Параметры её поперечного сечения представлены на рисунке 1. В [4] вычисленная разность погонных задержек четной и нечетной мод составляла около 1,2 нс/м, а номинал резисторов R (рисунок 1,б) выбран равным среднему геометрическому волновых сопротивлений четной и нечетной мод. При распространении импульса с ЭДС 2 В и длительностями фронтов и плоской вершины по 100 пс в структуре связанных линий он разлагается на два импульса с амплитудами 0,5 В, что в два раза меньше уровня импульсной помехи (1 В) в начале линии (половина ЭДС). Для достижения цели моделировалась структура с этими же параметрами, но схемная «земля» взята конечной в виде опорного проводника шириной w_g (рисунок 1,а) с изменением значения w_g от 0,3 мм до 52 мм. Сопротивления равны 50 Ом.

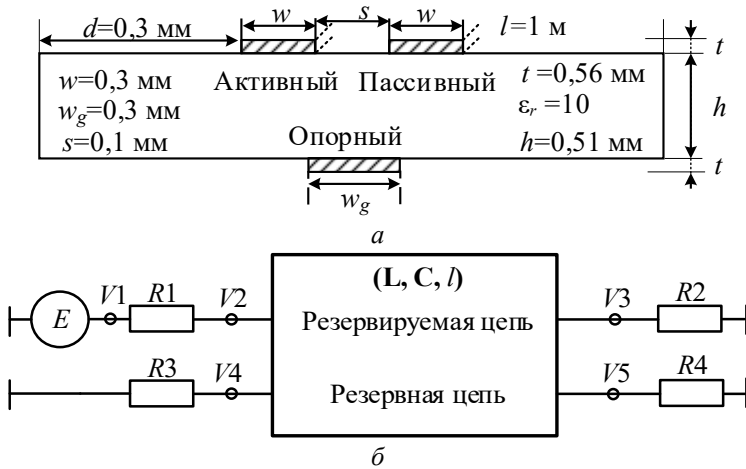


Рисунок 1 – Поперечное сечение (а) и принципиальная схема (б) печатной платы с модальным резервированием

В таблице 1 приведены значения среднего геометрического волновых сопротивлений четной и нечетной мод при увеличении

ширины опорного проводника от 0,3 мм до 52 мм. Видно, что связанные линии становятся более согласованными и результаты приближаются к значениям при бесконечной «земле».

Таблица 1 – Значения среднего геометрического волновых сопротивлений четной и нечетной мод при изменении ширины опорного проводника

w_g , мм	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
$(z_{\text{сз}} z_0)^{0,5}$, Ом	87,28	82,46	78,43	75,02	71,85	69,40	67,32	65,60	63,91	62,73	61,71
w_g , мм	2,6	3,9	6,5	7,8	13	15,6	19,5	26	39	52	∞
$(z_{\text{сз}} z_0)^{0,5}$, Ом	54,00	52,90	52,52	52,09	51,80	51,72	51,64	51,56	51,46	51,40	50,9

Для МР чем больше связи между проводниками, тем лучше и с уменьшением w_g эти связи увеличиваются. Поэтому для примера приведены результаты для 0,3 и 0,7 мм. На рисунке 2 и в таблице 2 приведены формы напряжения, параметры линий и амплитуды импульсов в конце активного проводника. Как видно, уменьшение w_g снижает амплитуду первого импульса, не меняя амплитуды второго. Между тем разность задержек импульсов сначала уменьшается, а затем растёт. Для более детального исследования вычислены параметры линий с изменением ширины опорного проводника (рисунки 2–5).

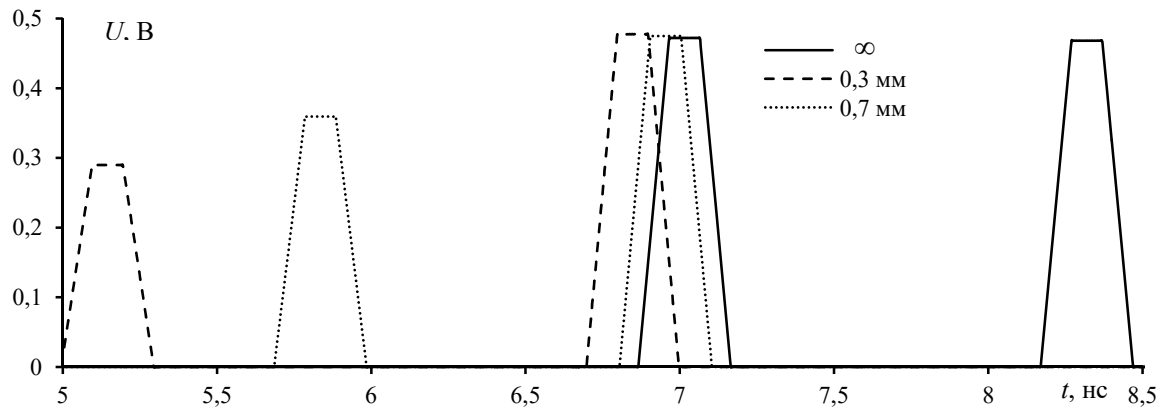


Рисунок 2 – Формы напряжения в конце активного проводника (узел V_3 на рисунке 1,б) при изменении ширины опорного проводника для печатной платы с модальным резервированием

Таблица 2 – Параметры печатной платы с модальным резервированием при изменении ширины опорного проводника

w_g , мм	c_{11} , пФ/м	c_{12} , пФ/м	l_{11} , нГн/м	l_{12} , нГн/м	z_e , Ом
0,3	113,659	-92,344	694,026	476,306	32,510
0,7	124,821	-89,936	570,966	355,394	31,683
∞	159,891	-62,343	448,143	236,048	30,893

Окончание таблицы 2

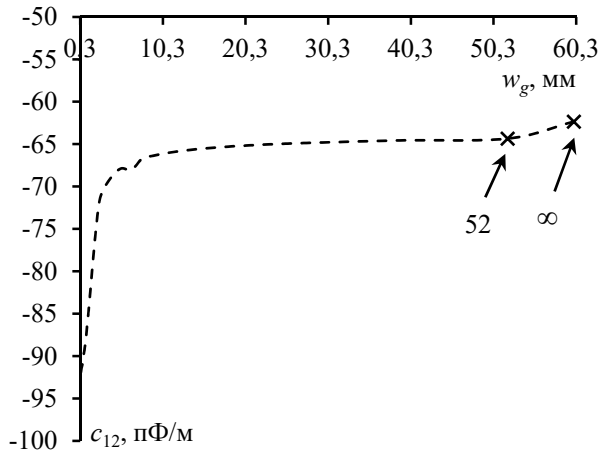
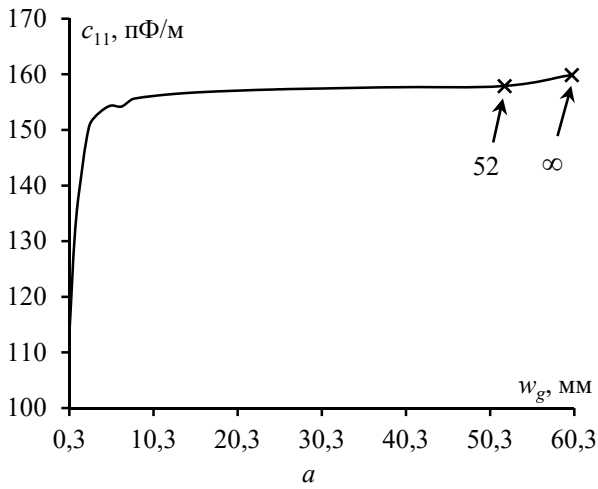
z_o , Ом	τ_c , нс/м	τ_o , нс/м	$\Delta\tau$, нс/м	V_1 , В	V_2 , В
234,319	6,697	4,995	1,703	0,289	0,477
162,956	6,804	5,685	1,119	0,359	0,474
83,749	8,170	6,865	1,304	0,472	0,468

Анализ зависимостей показал следующее.

1. Уменьшение ширины опорного проводника увеличивает среднее геометрическое волновых сопротивлений четной и нечетной мод примерно с 50 до 100 Ом.

2. Переход от бесконечной «земли» к конечной, даже довольно широкой, заметен лишь на коэффициентах электростатической индукции (до 3 %) и погонной задержке четной моды (до 2 %).

При малых значениях ширины опорного проводника изменения параметров наиболее выражены. В частности, выявлена возможность существования минимума разности погонных задержек, который нежелателен, поскольку для модального разложения эту разность полезно, наоборот, максимизировать. Поэтому такую возможность в перспективе желательно исследовать более тщательно, в частности, точно задавая диэлектрические границы реальной структуры.



\bar{b}

Рисунок 3 – Зависимости c_{11} (а) и c_{12} (б) от ширины опорного проводника

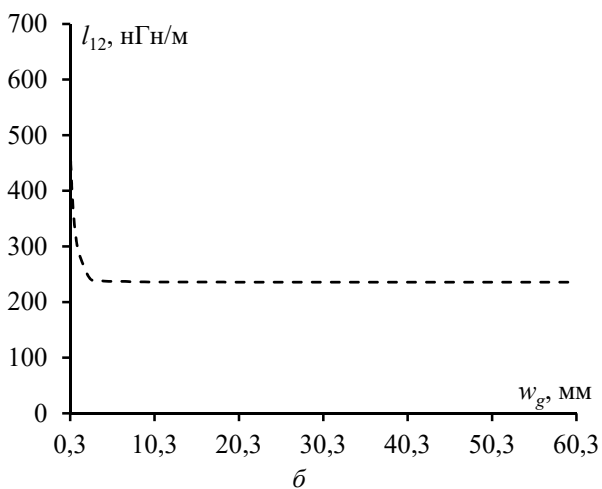
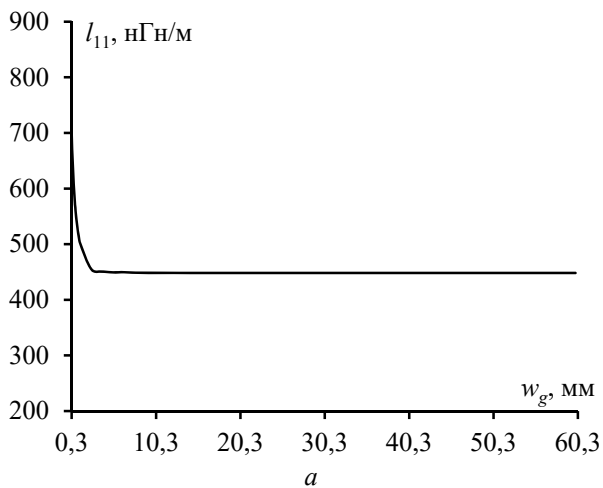
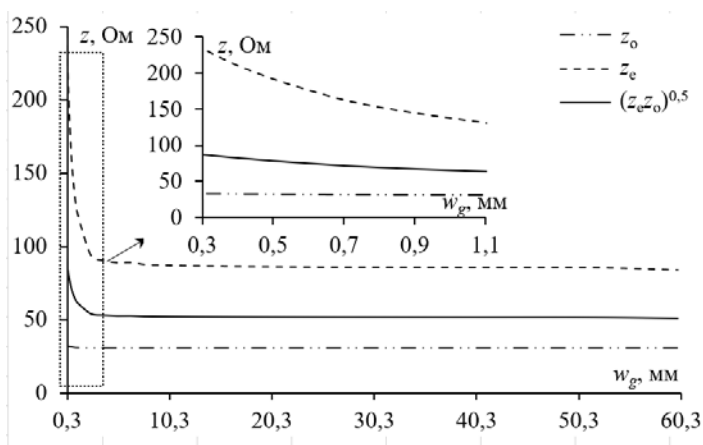
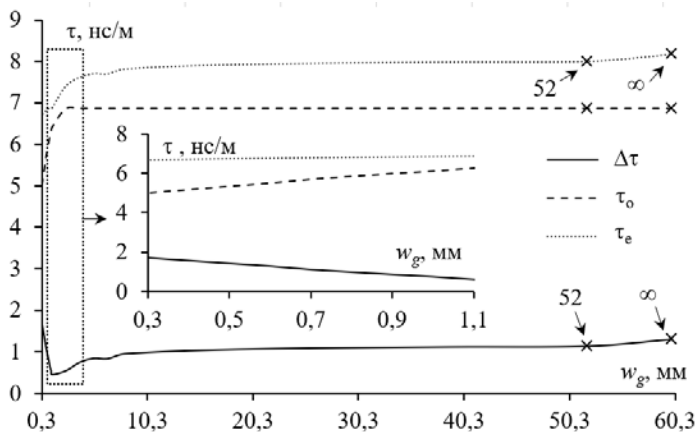


Рисунок 4 – Зависимости l_{11} (а) и l_{12} (б) от ширины опорного проводника



a



b

Рисунок 5 – Зависимости z_e , z_0 и $(z_e z_0)^{0,5}$ (a) и τ_e , τ_0 и их разности (б) от ширины опорного проводника

*Работа выполнена в ТУСУРе при финансовой поддержке
Российского научного фонда (проект 19-19-00424,
<https://rscf.ru/project/19-19-00424/>)*

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарафутдинов В. Р., Газизов Т. Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 3. С. 117–144.
2. Kuksenko S. P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 1–7.
3. Tesche F. M., Ianoz M. V., Karlsson T. EMC analysis methods and computational models. John Wiley & Sons, 1996. 623 p.
4. Пат. 2603850 Рос. Федерация, МПК Н 04 В 15/02. Способ трассировки печатных проводников цепей с резервированием / Газизов Т.Р., Орлов П.Е., Шарафутдинов В.Р. [и др.] ; № 2015129253/07; заявл. 16.07.15 ; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34. 7 с.

Alhaj Hasan Adnan

The influence of the reference conductor width on the accuracy of the quasi-static simulation of a structure with modal reservations in the TALGAT system

The quasi-static modeling of a structure with modal reservation (MR) in the TALGAT system is considered. We calculate the parameters of the coupled transmission lines at different values of the reference conductor width. They compared with the simulation results using an infinite ground. A number of important features of the structure under study are revealed.