

Сравнение результатов расчётов волнового сопротивления линий передач на печатных платах

Вячеслав Кухарук (компания «ЭРЕМЕКС»), **Виктор Ухин** (компания «ЭРЕМЕКС»), **Дмитрий Коломенский** (Центр технологий материалов, Сколковский институт науки и технологий), **Ольга Смирнова** (компания «ЭРЕМЕКС»)

В предыдущей статье была приведена теория расчётов волнового сопротивления линий передач на печатных платах. Здесь мы анонсируем разработанный компанией ЭРЕМЕКС специализированный инструмент для расчёта и покажем точность и корректность его работы.

Печатные платы (ПП) широко применяются в электронных устройствах. Именно они являются основным узлом, обеспечивающим связь между различными компонентами и сигнальными линиями. При проектировании ПП необходимо учитывать такой важный параметр, как волновое сопротивление линий передач (ЛП), как одиночных, так и дифференциальных.

Волновое сопротивление ЛП во многом определяет, как сигналы будут распространяться по ПП. Несоответствие волнового сопротивления может привести к помехам, потере сигнала и нестабильной работе всего устройства. Поэтому важно правильно рассчитать волновое сопротивление ЛП [1].

На рынке существует несколько систем автоматизированного проек-

тирования (САПР), позволяющих рассчитывать волновое сопротивление ЛП на печатных платах. Все эти системы являются импортными.

В настоящее время компания «ЭРЕМЕКС» разрабатывает калькулятор для расчета импеданса как одиночных ЛП, так и дифференциальных. Программа находится на финальной стадии разработки и скоро будет представлена российским специалистам в области проектирования электроники. Современный инженер достаточно консервативен и тяжело меняет выбранные когда-то подходы и инструменты для проектирования. Только объективные доводы, новые возможности, современный и проверенный математический аппарат и высокое качество реализации могут убедить

специалиста сменить программное средство.

Данная статья направлена на то, чтобы показать специалистам возможности и точность работы калькулятора от компании «ЭРЕМЕКС». Точность будет оцениваться путём сравнения значений импеданса, полученных с помощью калькулятора и в других подобных инструментах, а также с реальными измерениями волнового сопротивления ЛП на тестовой плате.

Исследование выполним как для одиночных ЛП, так и для дифференциальных, структуры которых наиболее часто используются инженерами. Расчёты произведём калькуляторами, встроенными в следующие САПР: Altium Designer (Altium), Xpedition PCB (Siemens), Si9000 (Polar) [2]. Так же, как отмечалось выше, для большей убедительности сравним теоретические расчёты с реальными значениями волнового сопротивления на ПП. Для этого были изготовлены тестовые купоны ЛП на заводе Резонит и измерены методом динамической рефлектометрии (Time Domain Reflectometry, TDR) по стандарту IPC-2141A [3].

Тип материала	Требуемая толщина платы, мм	
	1	1,5
Фольга 1	0,018	0,018
Препрег 1	1 x 2116	1 x 2116
	TG150 0,115	0,115
TG170	0,125	0,125
Фольга 2	0,018	0,018
Ядро 1	FR-4 (TG 150/170)	0,2
Фольга 3	0,018	0,018
Препрег 2	2 x 2116	1 x 2116
	TG150 0,115 + 0,115	0,115
TG170	0,125 + 0,125	0,125
Фольга 4	0,018	0,018
Ядро 2	FR-4 (TG 150/170)	0,2
Фольга 5	0,018	0,018
Препрег 3	1 x 2116	1 x 2116
	TG150 0,115	0,115
TG170	0,125	0,125
Фольга 6	0,018	0,018
Фактическая толщина платы, мм:	TG150 0,968	1,473
	TG170 1,008	1,503

Рис. 1. Структура ПП для тестовых купонов

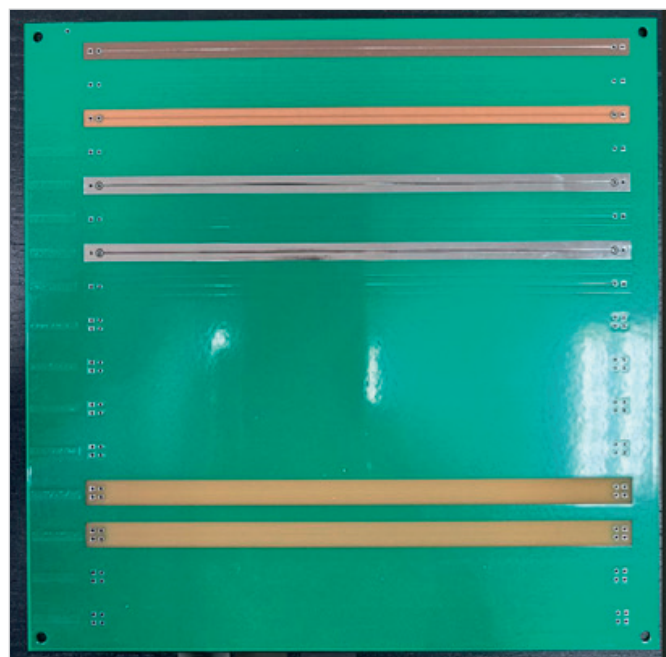


Рис. 2. Тестовая плата с ЛП

Таблица 1. Исходные параметры и результаты расчётов, измерений волнового сопротивления

Тип ЛП: одиночные			Delta Design	Polar	Altium Designer	Xpedition PCB	Печатная плата
1		Микрополосковая ЛП H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, T1 = 0,045 мм	50,47	50,28	51,23	50,6	53,6 (S50)
2		Микрополосковая ЛП с маской H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, T1 = 0,045 мм, C1 = 0,025 мм, CEr = 3,5	48,03	47,89	48,5	48	51,56 (S48)
3		Микрополосковая ЛП заглиблённая H1 = 0,2 мм, Er1 = 4,1, H2 = 0,115 мм, Er2 = 4,2, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, T1 = 0,015 мм	64,02	63,74	64,1	50,6	59,09 (S64)
4		Полосковая ЛП H1 = 0,2 мм, Er1 = 4,1, H2 = 0,23 мм, Er2 = 4,2, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, T1 = 0,015 мм	48,39	48,23	49,56	48	49,37 (S48)
5		Микрополосковая копланарная ЛП H1 = 0,96 мм, Er1 = 4,3, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм	73,61	73,35	74,69	X	X
6		Микрополосковая копланарная ЛП с маской H1 = 0,96 мм, Er1 = 4,3, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм, C1 = 0,025 мм, CEr = 3,5	68,08	67,85	68,26	X	X
7		Микрополосковая копланарная ЛП с опорным слоем H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм	47,84	47,69	48,36	X	51,56 (S48)
8		Микрополосковая копланарная ЛП с маской и опорным слоем H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,2 мм, W2 = 0,175 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм, C1 = 0,025 мм, CEr = 3,5	45,13	45,03	45,36	X	46,84 (S45)
Тип ЛП: дифф. пара							
9		Микрополосковая ЛП H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,115 мм, S1 = 0,14 мм, T1 = 0,045 мм	101,44	101,08	103,3	101	106,5 (D101)
10		Микрополосковая ЛП с маской H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,175 мм, S1 = 0,14 мм, T1 = 0,045 мм, C1 = 0,025 мм, CEr = 3,5	93,24	93,06	94,41	93	96,61 (D93)
11		Микрополосковая ЛП заглиблённая H1 = 0,2 мм, Er1 = 4,1, H2 = 0,115 мм, Er2 = 4,2, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,115 мм, S1 = 0,14 мм, T1 = 0,015 мм	105,96	105,52	106,2	106	96,69 (D106)
12		Полосковая ЛП H1 = 0,2 мм, Er1 = 4,1, H2 = 0,23 мм, Er2 = 4,2, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,115 мм, S1 = 0,14 мм, T1 = 0,015 мм	96,48	96,15	96,3	96,3	90,63 (D96)
13		Микрополосковая копланарная ЛП H1 = 0,96 мм, Er1 = 4,3, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,115 мм, S1 = 0,14 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм	116,78	116,43	119,62	X	X
14		Микрополосковая копланарная ЛП с маской H1 = 0,96 мм, Er1 = 4,3, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,115 мм, S1 = 0,14 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм, C1 = 0,025 мм, CEr = 3,5	106,02	105,68	107,58	X	X
15		Микрополосковая копланарная ЛП с опорным слоем H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,115 мм, S1 = 0,14 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм	99,59	99,31	101,17	X	107,25 (D100)
16		Микрополосковая копланарная ЛП с маской и опорным слоем H1 = 0,115 мм, Er1 = 4,2, W1 = 0,14 мм, W2 = 0,115 мм, S1 = 0,14 мм, D1 = 0,15 мм, T1 = 0,045 мм, C1 = 0,025 мм, CEr = 3,5	91,33	91,11	92,14	X	92,13 (D91)

Customer	REM639276			
Board Type	622			
Part Number	332761			
Revision Number				
Testfile Date	Monday, September 25, 2023 12:41:35			
Print Date	Monday, September 25, 2023 12:44:50			
Station ID	Rezolit_Polar_1			
Testfile Path	C:\Users\polar\Desktop\Файлы КУПОНОВ\REM639276..			
Datalog File Path	C:\Users\polar\Desktop\Файлы КУПОНОВ\TIMLOG\6..			
Description	Layer	Average	Max-Min	Result
✓ D91	6	92.13	3.46	Pass
✓ D96	4	90.63	3.11	Pass
✓ D106	5	96.69	0.97	Pass
✓ D93	6	96.61	3.13	Pass
✓ S45	1	46.84	0.99	Pass
✓ S48	3	45.85	0.80	Pass
✓ S64	2	59.09	1.46	Pass
✓ S48	1	49.37	0.76	Pass
✓ D100	6	107.25	4.45	Pass
✓ D101	6	106.50	5.75	Pass
✓ S48	1	51.56	1.45	Pass
✓ S50	1	53.60	1.31	Pass

Polar CITS880s - [V22.07.14.00, Sn18330]
Software licenced to: -> REZONIT
Page 1




Рис. 3. Отчёт, предоставленный компанией «Резонит» после изготовления ППП

ЛП в виде тестовых купонов рассчитывались на основе стандартного стека 6-слойной платы толщиной 1 мм и была изготовлена на заводе «Резонит» с материалом FR4 (TG150) (рис. 1, 2) [4].

После изготовления ППП был получен отчёт от завода-изготовителя, в котором отображены результаты измерения волнового сопротивления для каждой ЛП (рис. 3). В отчёте подсчитаны все линии, кроме копланарных ЛП без опорного слоя в соседних слоях.

На следующем шаге все результаты исследований были сведены в единую табл. 1. Метка «X» значит, что данная ЛП не может быть посчитана в выбран-

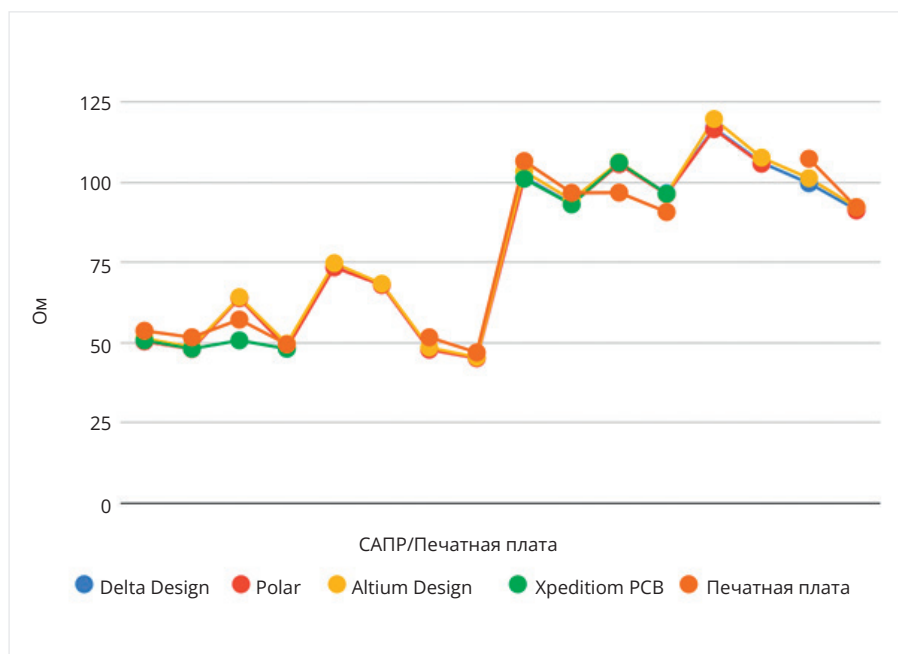


Рис. 4. Сравнение результатов расчётов волнового сопротивления ЛПП на ППП

ной САПР или с помощью выбранного метода.

На рис. 4 представлен сводный график результатов расчётов для волнового сопротивления.

Из представленного выше видно, что результаты вычислений в раз-

работанном компанией «ЭРЕМЕКС» калькуляторе практически не отличаются от значений, полученных в других САПР. Минимальное отклонение не окажет значительного влияния на качество сигнала. Если сравнивать с результатами измере-

ний в натуральном эксперименте, то следует отметить, что отклонение больше, но не выходит за установленные границы в 10 процентов. Значение импеданса на реальной плате во многом зависит от технологических возможностей производства и качества материалов. Изготовление данной тестовой платы на другом заводе (даже с использованием другой партии материалов для производства) приведёт к получению иных значений волнового сопротивления.

Таким образом, калькулятор импеданса от компании «ЭРЕМЕКС» обеспечивает высокую точность расчётов и может стать надёжным и качественным аналогом импортного производства.

Литература

1. Кечиев Л.Н. Печатные платы и узлы гигабитной электроники. М.: Грифон, 2017. 13 с.
2. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_EDA_companies.
3. IPC-2141A Design Guide for High-Speed Controlled Impedance Circuit Boards.
4. URL: <https://www.rezonit.ru/>. ©

OLED-дисплеи Raystar

Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м² обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 10 000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светоэмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от -40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

официальный дистрибьютор

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 ▪ INFO@PROCHIP.RU ▪ WWW.PROCHIP.RU