

ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И МНОГОСЛОЙНОСТЬ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Арнольд Вимерс (Arnold Wiemers)
© ILFA GmbH (Germany)

©Перевод ELLWEST KG (Austria)
Переводчики:
М.И. Василенко,
Я. В. Василенко

Продолжение. Часть 3.

Послойная структура многослойных плат: внутренние слои

На первый взгляд может показаться, что нет непосредственной связи между волновым сопротивлением электрической схемы любого вида и механической конструкцией многослойной печатной платы. Если многослойная структура спроектирована, то с учетом этого расчета автоматически определяются другие параметры платы.

Проблема заключается в том, что вычисление волнового сопротивления должно быть сделано **прежде**, чем выполнен послойный дизайн. При этом известную роль играют правила проектирования многослойных конструкций.

Для ламинатных компонентов применяется общее правило, заключающееся в том, что ламинат с обеих сторон должен иметь равную толщину меди, поскольку в противном случае ламинат не может быть протравлен надлежащим образом.

О чем идет речь, можно увидеть из рисунка 20. Внутренне ядро 1 здесь несет топологию внутренних слоев «I2» и «I3». Если слой «I2» выполнен из медной фольги 17мкм, то и слой «I3» должен иметь такую же толщину фольги.

То же самое относится и к внутреннему ядру 2, несущему топологию внутренних слоев «I4» и «I5». Если для слоя «I4» требуется медная фольга толщиной 35мкм, то и для слоя «I5» необходима такая же толщина фольги.

Для такого варианта конструкции, в процессе производства вначале структурируется проводящая топология на двух внутренних сторонах ядра. Затем этот ламинат оснащается вставками из препрега, вся конструкция дополнительно покрывается медной фольгой и, в завершение, спрессовывается в единое целое.

Рисунок 20. Назначение и распределение толщин меди на ламинате для 6-слойной многослойной печатной платы

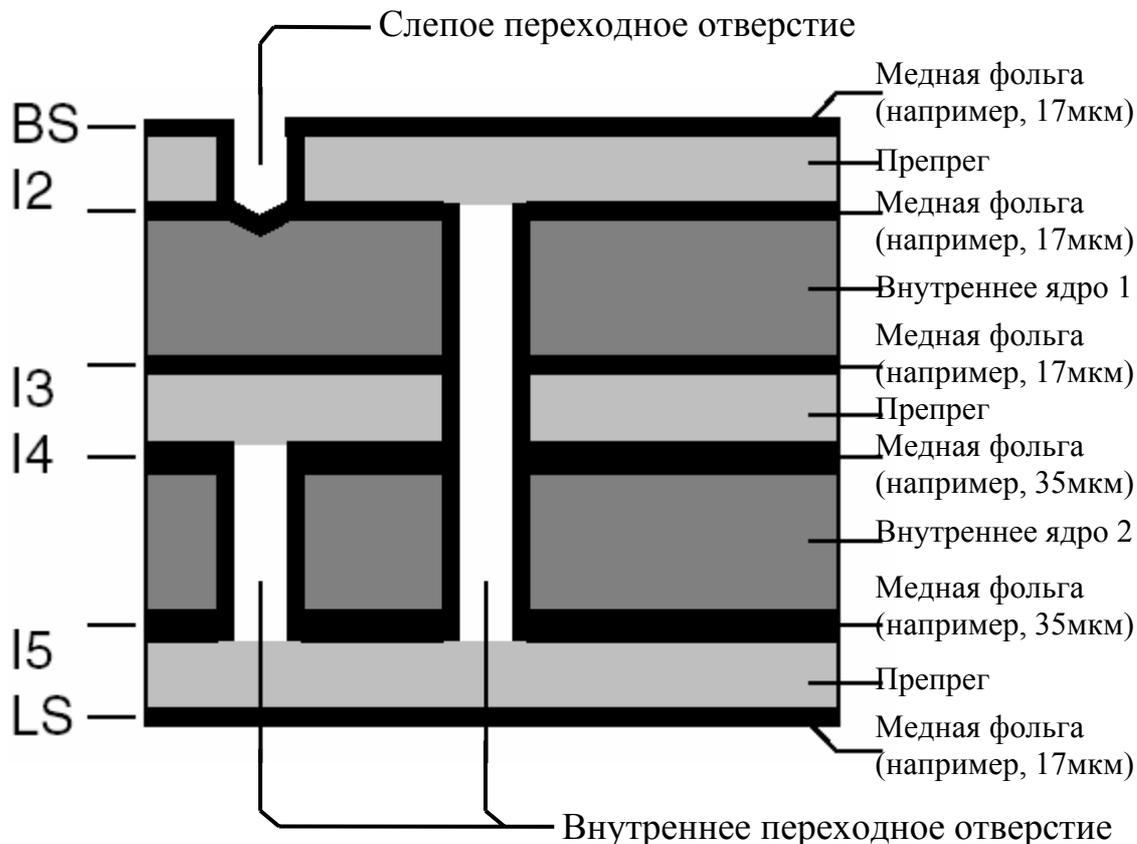


Рисунок 21. Допустимый вариант металлизации 6-слойной многослойной печатной платы с внутренними ядрами

Внутреннее переходное отверстие	I2 → I5
	I4 → I3
	I2 → I5 → I4 → I5 если Cu(I2)=Cu(I5)
Слепое переходное отверстие	BS → I2
	BS → I2 → I3
	BS → I2 → I3 → I4
	BS → I2 → I3 → I4 → I5
	LS → I5
	LS → I5 → I4
	LS → I5 → I4 → I3
	LS → I5 → I4 → I3 → I2

Рисунок 22. Недопустимый вариант металлизации 6-слойной многослойной печатной платы с внутренними ядрами

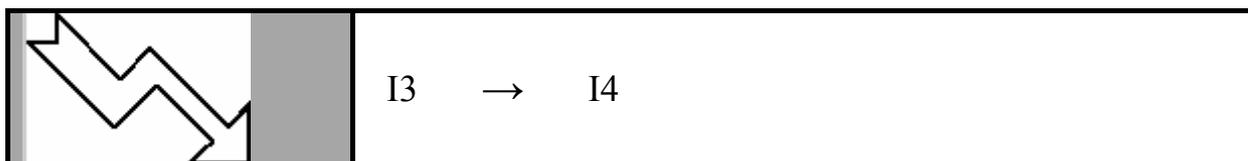


Рисунок 23. Идентичная толщина меди в 6-слойной многослойной печатной плате с внутренними ядрами

Толщина меди	I2 = I3
	I4 = I5
	BS = LS

После того как прессование многослойных структур, включая проводящий рисунок (топологию) внешних слоев, фактически завершено, теоретически они могут рассматриваться как обычная 2-слойная печатная плата. Единственное условие - толщина меди должна быть одинаковой на обеих сторонах платы, так как иначе будет невозможно выполнить надлежащим образом операцию травления (рисунок 23).

В тех случаях, когда любой внутренний слой несет в себе проводники с контролируемым волновым сопротивлением, то, с учетом требований к параметрам волнового сопротивления, возникает множество дополнительных требований к расчету конструкции печатной платы.

Отправной точкой этих дополнительных расчетов является, как правило, ширина проводников, обладающих волновым сопротивлением, а также, заданный тип волнового сопротивления.

Например, если тип волнового сопротивления определен как «простая одиночная несимметричная полосковая линия», тогда это требует расположение сигнальных слоев между двумя плоскостями питания. Следовательно, для реализации волнового сопротивления требуются три слоя в многослойной конструкции. На практике это сводится к выбору трех слоев в пределах многослойной конструкции из четырех («I2», «I3», «I4», «I5») доступных внутренних слоев (смотри рисунок 20).

Предположим, что другим условием является то, что печатный проводник, обладающий волновым сопротивлением, должен иметь ширину 150мкм. В этом случае, соображения технологии производства (боковой подтрав узких проводников) обуславливают максимально допустимую толщину меди во внутренних слоях в 17мкм. Из диаграммы на рисунке 20 видно, что в

качестве объекта для размещения проводников с контролируемым волновым сопротивлением можно рассматривать только слой «I3». Слой «I2» не подходит, так как, в этом случае, сторона BS должна была бы быть плоскостью питания, что, как правило, неэффективно из-за необходимости высвобождения места в ней для присоединений комплектующих элементов (планарных компонентов и проводников), а также, прежде всего, из-за необходимости практического расположения на ней многочисленных сигнальных проводников. Впрочем, с другой стороны, задействованная исключительно для установки планарных компонентов и сконструированная как плоскость питания сторона BS имеет преимущество в том, что проводники с волновым сопротивлением расположенные в соседних слоях не пересекают плоскостей питания. Слой «I4» также не подходит, поскольку толщина меди в 35мкм не допускает структуру проводников в 150 мкм.

Если слой «I3» несет в себе сигнальные проводники, тогда слои «I2» и «I4» должны быть плоскостями питания. Если сторона BS экранирована от внешних помех, тогда наличие GND в слое «I2» было бы хорошим решением и сделало бы необходимым наличие VCC в слое «I4».

Необходимо учитывать, что, если в процессе функционирования модуля выделяется тепло, то оно не может быть эффективно поглощено слоем «I2» с медью более тонкой, чем 35мкм. В таком случае, противоположная сторона ламината также должна будет быть покрыта медью толщиной 35мкм, что в свою очередь, приведет к волновому сопротивлению не такому, какое требуется.

Гибкость при распределении сигнальных слоев и плоскостей питания существенно ограничена в платах с РВП и еще более низкая - в платах с РСП. Хотя, с одной стороны, в таких платах достижимы более высокие значения величины волнового сопротивления, но, с другой- на противоположной стороне ламината, которая должна быть плоскостью питания, также будет необходима медь толщиной 9мкм или (что еще лучше) 5мкм. Однако, в этом случае, если электрическая схема в процессе функционирования модуля находится под нагрузкой, то могут возникнуть проблемы с отводом тепла.

Представленная многослойная конструкция может стать совершенно неработоспособной, если внутренние переходные отверстия от слоя «I2» к слою «I5» используются в качестве стратегии для контактирования (рисунки 21, 22).

Чтобы осуществить это контактирование технически, необходимо отдельно спрессовать группу слоев I2+I3+I4+I5, просверлить в них отверстия и осадить металл, затем на слои «I2» и «I5» экспонировать топологию с проводящим рисунком, который в завершение всего должен быть протравлен. Эта группа слоев также подчиняется правилу, что травление

может быть выполнено только в том случае, если наружные слои (в нашем примере – слои «I2» и «I5») имеют идентичную толщину меди.

Например, если волновое сопротивление в электрической схеме с РВП рассчитано при толщине меди в 5мкм для слоя «I3», тогда и слой «I2» должен иметь ту же самую толщину (поскольку они представляют собой две стороны одного и того же ламината). А так как, внутренние переходные отверстия соединяют слои I2+I3+I4+I5, тогда слой «I4» должен иметь ту же самую толщину меди как и у слоя «I2» (оба – внешние стороны после прессования). Если слой «I5» имеет толщину меди в 5мкм, тогда и слой «I4» должен иметь ту же самую толщину (поскольку слои «I4» и «I5» две стороны одного и того же ламината).

Таким образом, определение и необходимость обеспечения волнового сопротивления печатного проводника может оказывать значительное влияние и на послойную структуру и на стратегию автоматизированного проектирования при топологической разводке печатной платы.

Базовые материалы (жесткие)

Функциональные требования к модулю определяют, какой материал может или должен использоваться для изготовления печатной платы. В таблице на рисунке 24 представлен обзор групп базовых материалов (жестких), доступных в настоящее время. В этой таблице величина ϵ_r дана применительно к частоте 1МГц.

Значение ϵ_r (говорят «Ипсилон-Р») является важнейшей характеристикой материалов в плане надлежащего расчета и обеспечения заданного волнового сопротивления. Из таблицы 24 видно, что различные группы материалов обладают широким спектром величин ϵ_r . При этом, однако, следует иметь в виду, что кроме перечисленных характеристик (T_g , ϵ_r и стоимость) есть и другие различные технические параметры материала, важные на практике: поглощение влаги, расширение по осям X, Y и Z, негорючесть, механическая стабильность и множество других. Например, в высокочастотной электрической схеме коэффициент энергопотерь (тангенс угла диэлектрических потерь δ) имеет более существенное значение, чем точность значения ϵ_r .

Таким образом, для ожидаемых «нормальных» значений волнового сопротивления широко распространенный сейчас материал FR4 может еще некоторое время гарантировать приемлемые решения.

Рисунок 24. Доступные группы базовых материалов для (жестких) печатных плат (величина ϵ_r на частоте 1МГц)

Группа	Состав	Tg	ϵ_r	Относительная стоимость
BT	Бисмалейнимид-триазиновая смола с кварцевым стеклом	180-220	3.9-4.9	5.3
CE	Циановокислый сложный эфир с кварцевым стеклом	230	3.6	4.5
CEM1	Ядро из фенольной бумаги с FR4-внешними слоями	130	4.7	4.5
CEM3	Ядро из стеклянного мата (или стеклянного фетра) с FR4-внешними слоями	130	5.2	0.95
FR2	Бумага с фенольной смолой	105	4.7	0.73
FR3	Эпоксидная бумага	110	4.9	0.85
FR4	Слоистый эпоксидный материал из стекловолокна	135-170	4.7	1 Базовая
FR5	Слоистый эпоксидный материал из стекловолокна со сшиваемой смолой сеткой	160	4.6	1.4
PD	Полиамидная смола	260	4.2-4.6	6.5
PTFE	Политетрафлуор этилен со стеклом или керамикой	240-280	2.2-10.2	32-78
CHn	Высоко-уплотненные углеводы с керамикой	300	4.5-9.8	90

Внутренние слои: ламинаты

Внутренние слои из ламината FR4 относятся к стандартным материалам, применяемым при изготовлении печатных плат. В прежней практике для некритичных послойных структур многослойных плат было общепринято и достаточно заказывать производителю «4-слойную многослойную плату». В таких случаях производитель использовал стандартные недорогие ламинаты.

С появлением требований реализации в печатных платах заданного волнового сопротивления такой путь оказался больше неприемлемым. Во-первых, вычисление волнового сопротивления должно производиться перед началом работы в САПР и, во-вторых, выбор меди заданной толщины, следующий за вычислением волнового сопротивления, сказывается на послойной структуре многослойной печатной платы. Следовательно, конструкторы должны знать, какие ламинаты являются доступными в

промышленности, и какая система условных обозначений используется при работе с ними.

На рисунке 25 представлены стандартизированные типы ламинатов для внутренних слоев печатных плат.

Рисунок 25. Номенклатура материала FR-4, возможного к применению для производства печатных плат

Ламинат	Медь				
	5мкм	17мкм	35мкм	70мкм	105мкм
0.050мм	●	●	●	○	○
0.075мм	□	●	●	○	○
0.100мм	●	●	●	○	○
0.200мм	□	●	●	○	○
0.360мм	□	●	●	○	○
0.460мм	●	●	●	○	○
0.710мм	□	●	●	○	○
0.930мм	□	●	●	●	○
1.000мм	●	●	●	●	○
1.130мм	□	●	●	○	○
1.430мм	●	●	●	●	○
1.860мм	□	□	□	●	○
1.930мм	□	□	●	○	○
2.330мм	□	□	●	●	○

● Как правило, в наличии ○ Можно изготовить □ По запросу

Вместе с тем, следует иметь ввиду, что такое разнообразие вариантов материалов, какое указано на рис. 25, да, по возможности, еще и с различной величиной Tg, не всегда имеется в наличии у производителя печатных плат. Поэтому, после расчета волнового сопротивления и выбора типа многослойной конструкции, а также ее послойной структуры, целесообразно связаться с производителем, для того, чтобы договориться об используемых материалах, а также, дать ему возможность, при необходимости, приобрести требуемые материалы, в то время, пока еще продолжается разработка печатной платы.

Необходимо также отметить, что ламинаты внутренних слоев и базовые ламинаты у двухсторонних печатных платах технически идентичны. Имеют место лишь нюансы в обозначении этих обоих типов. Ламинаты для двухсторонних печатных плат стандартной толщины в 0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 2.0, 2.4 или 3.2мм всегда включают в себя покрытие медью. Таким образом, электроизоляционный слой ламината, обозначенный как «FR4, 1.5мм, 35мкм» в действительности имеет толщину не 1.5мм, а $1.5 - (2 * 35\text{мкм}) = 1.43\text{мм}$. Напротив, ламинаты внутренних слоев для сборки многослойных конструкций всегда задаются без толщины меди. Следовательно, обозначение «внутренний слой в 200мкм» ничего не говорит о толщине меди, а только определяет толщину электроизоляционного слоя. В каждом случае требуемая толщина меди указывается дополнительно. Пример: «внутренний слой в 200мкм с 35мкм медью». Следовательно, полная толщина этого внутреннего слоя составляет $200\text{мкм} + (2 * 35\text{мкм}) = 270\text{мкм}$. Это обстоятельство необходимо учитывать при вычислении волнового сопротивления и определении полной результирующей толщины многослойной печатной платы.

Внутренние слои: травление

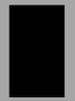
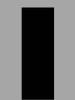
Мы уже затрагивали тему травления структуры печатных проводников на печатной плате. На рисунке 26 показан список толщин меди в зависимости от ширины печатного проводника, реализуемых технологией производства печатных плат на современных предприятиях.

Отклонения могут возникнуть в граничных зонах (их границы зависят от изготовителей печатных плат) в тех случаях, когда кроме обычной технологии обработки меди (травление проводящего рисунка с защитой фоторезистом) также используется так называемая (дорогостоящая) «металлическая технология» (травление проводящего рисунка с защитой металлическим резистом).

При анализе возможностей получения проводящего рисунка путем травления первая граничная зона можно обозначить на отметке в 150мкм. Это точка перехода от печатных плат с линиями малой ширины к печатным платам, спроектированным по технологии РВП (=«печатные платы с наитончайшими линиями»), причем, ширина ниже чем в 150мкм для сигнальных печатных проводников при толщине меди в 35мкм, является более недостижимой применением стандартных методов травления.. Вторая граничная зона расположена на отметке в 100мкм, то есть в точке перехода между РВП к РСП (=«х-РВП» или «микро-РВП»). При этом, ширина сигнальных печатных проводников ниже, чем 100 мкм, при толщине меди в

17мкм, является, также, более нереализуемой при стандартных методах травления.

Рисунок 26. Возможности обеспечения путем травления топологической структуры во внутренних слоях многослойной печатной платы в зависимости от толщины меди

Класс топологии	Медь				
	5мкм	17мкм	35мкм	70мкм	105мкм
Свободный проводник в 300мкм сечение (мкм ²)	 1500	 5100	 10500	 21000	 31500
Стандартный проводник в 200мкм сечение (мкм ²)	 1000	 3400	 7000	 14000	 21000
Проводник малой ширины в 180мкм сечение (мкм ²)	 900	 3060	 6300	 12600	 18900
Проводник наименьшей ширины в 150мкм сечение (мкм ²)	 750	 2550	 5250	 10500	 15700
Проводник сверхмалой ширины в 120мкм сечение (мкм ²)	 600	 2040	 4200	 8400	 12600
Проводник сверхмалой ширины в 100мкм сечение (мкм ²)	 500	 1700	 3500	 7000	 10500
Проводник суперсверхмалой ширины в 80мкм сечение (мкм ²)	 400	 1360	 2800	 5600	 8400
		необходима предварительная консультация			

(окончание следует)