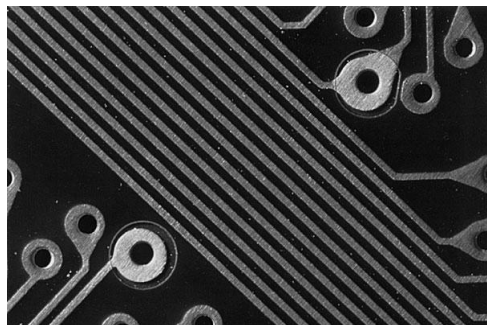


Справочник конструктора печатных плат

Кухарук В.С.



В определенной мере данная статья может служить справочником по разработке быстродействующих печатных плат. Все пожелания и замечания, направленные на электронный адрес kuharuk@skat-pro.com, будут с благодарностью приняты.

1. Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий в зависимости от класса точности печатной платы

Диаметр отверстия	Наличие металлизации	Предельное отклонение диаметра отверстия для класса точности						
		1	2	3	4	5	6	7
До 0,3 включ.	Без металлизации	-	-	-	±0,02	±0,02	±0,02	±0,02
	С металлизацией Без оплавления	-	-	-	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02
	С металлизацией и с оплавлением	-	-	-	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06
Св. 0,3 до 1,0 включ.	Без металлизации	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,05	±0,025	±0,02
	С металлизацией Без оплавления	+0,05	+0,05	+0	+0	+0	-0,025	-0,02
	С металлизацией и с оплавлением	-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,10	-0,075	-0,05
Св. 1,0	Без металлизации	+0,05	+0,05	+0	+0	+0	-	-
	С металлизацией Без оплавления	-0,18	-0,18	-0,13	-0,13	-0,13	-	-
	С металлизацией и с оплавлением	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10	±0,10	±0,05	±0,03
	Без металлизации	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05	+0	-0,02
	С металлизацией Без оплавления	-0,20	-0,20	-0,15	-0,15	-0,15	-0,10	-0,08
	С металлизацией и с оплавлением	+0,10	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05	-	-
		-0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18	-	-

2. Наименьшие номинальные размеры элементов проводящего рисунка печатных плат и ГПК в зависимости от класса точности

Наименование параметра	Наименьшие номинальные значения размеров для класса точности						
	1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Расстояние между проводниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Гарантийный поясок контактной площадки	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015

3. Расчёт наименьшего номинального размера контактной площадки D, мм

$$D = (d + \Delta d_{BO}) + 2b + \Delta t_{BO} + 2\Delta d_{TP} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{HO}^2)^{1/2}$$

где d - диаметр отверстия, мм;

Δd_{BO} - верхнее предельное отклонение диаметра отверстия, мм;

Δd_{TP} - значение подтравливания диэлектрика в отверстии, равное 0,03 мм для МПП и нулю для ОПП и ДПП;

b - гарантийный поясок контактной площадки, мм;

Δt_{BO} - верхнее предельное отклонение диаметра контактной площадки, мм;

Δt_{HO} - нижнее предельное отклонение диаметра контактной площадки, мм;

T_D - позиционный допуск расположения контактной площадки, мм;

T_d - позиционный допуск расположения отверстия, мм.

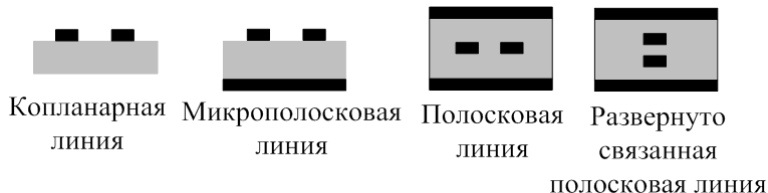
Диаметр сверла	3 кл.	4 кл.		5 кл.			
	ОПП, ДПП	ДПП	МПП		ДПП	МПП	
			внеш.	внутр.		внеш.	внутр.
	ободок						
	0,304	0,190	0,220	0,242	0,136	0,166	0,188
0,2	0,81	0,58	0,64	0,68	0,47	0,53	0,58
0,3	0,91	0,68	0,74	0,78	0,57	0,63	0,68
0,4	1,01	0,78	0,84	0,88	0,67	0,73	0,78
0,5	1,11	0,88	0,94	0,99	0,78	0,83	0,88

Примечание: Для неуказанных сверл диаметр площадки можно рассчитать: к диаметру сверла прибавить удвоенное значение ободка, полученный результат округлить до сотых долей миллиметра.

4. Примеры линий передач на печатной плате

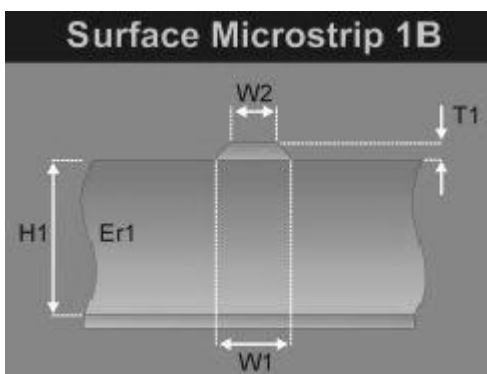


5. Примеры линий передач в виде дифференциальных пар на печатной плате



6. Примеры расчетов основных линий передач с контролем волнового сопротивления

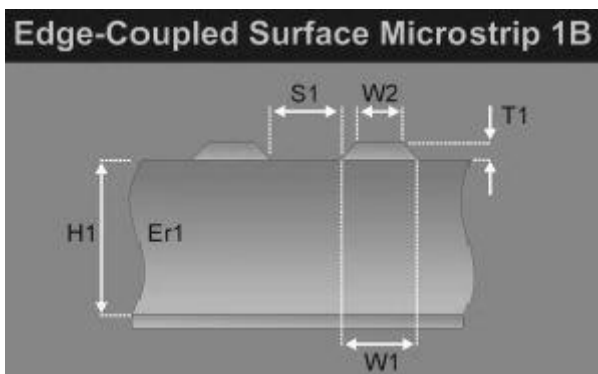
Вычисление волнового сопротивления для одиночной микрополосковой линии



$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \frac{5.98H}{0.8W + T}, [\text{Ом}],$$

при условии $W \leq 2H$, где ϵ_r -диэлектрическая проницаемость материала, W -ширина проводника, T -толщина меди (0,05 мм), H – толщина диэлектрика (расстояние до опорного плана).

Вычисление волнового сопротивления для дифференциальной пары микрополосковой линии



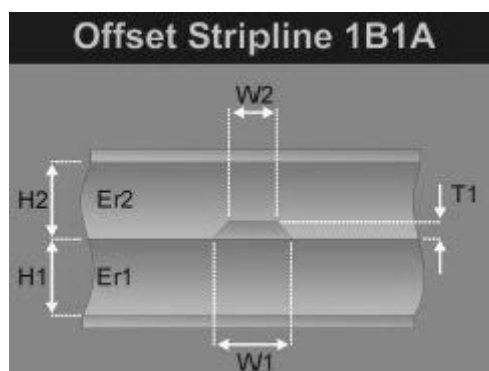
$$Z_{diff} = 2Z_0 \left[1 - 0,48 \exp\left(\frac{-0,96S}{H}\right) \right], [\text{Ом}], \text{ где } S\text{-расстояние}$$

между линиями в дифф. паре.

H, мкм при $\epsilon_r=4,5$	W, мм при $Z_0= 50 \text{ Ом}$	W, мм при $Z_{diff}= 100\text{Ом}$	S, мм при $Z_{diff}= 100 \text{ Ом}$
245	0,43	0,27	0,2
180	0,3	0,20	0,17
130	0,22	0,15	0,15
100	0,16	0,1	0,1

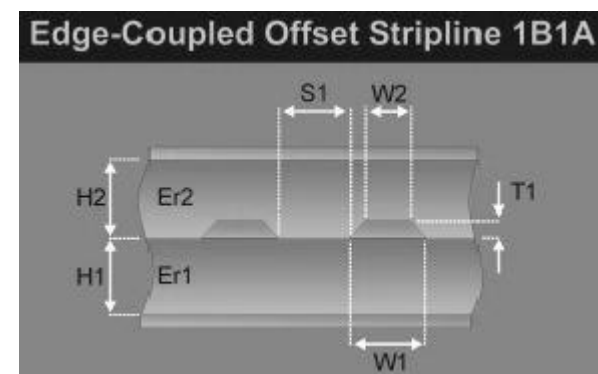
Внимание: этими аппроксимациями можно пользоваться только для предварительных расчётов

Вычисление волнового сопротивления для одиночного симметричного полоска



$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[\frac{1,9(2H + T)}{(0,8W + T)} \right], \text{ при } T = 0,018 \text{ мм}$$

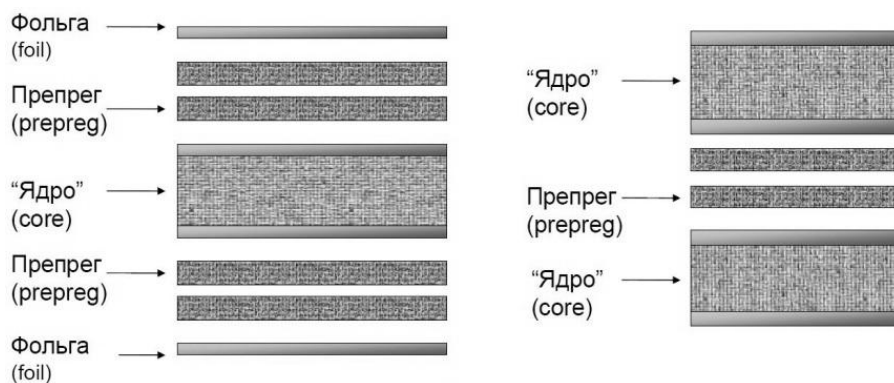
Вычисление волнового сопротивления для дифференциальной пары полосковой симметричной линии



$$Z_{diff} = 2Z_0 \left[1 - 0,48 \exp\left(\frac{-0,96S}{H}\right) \right],$$

H, мкм при $\epsilon_r=4,5$	W, мм при $Z_0= 50 \text{ Ом}$	W, мм при $Z_{diff}= 100 \text{ Ом}$	S, мм при $Z_{diff}= 100 \text{ Ом}$
300	0,21	0,15	0,18
250	0,17	0,12	0,15
200	0,13	0,1	0,13
150	0,09	0,075	0,12
130	0,075	-	-

7. Типовая структура МПП (другие варианты конструкции – как комбинация этих двух)



8. Базовые диэлектрики для ПП

Тип	Состав	Tg	ϵ_r	Стоимость
FR4	Типовой стеклотекстолит. Слоистый материал из стекловолокна с эпоксидной пропиткой	>140°C	4,0...4,7	1(базовая)
FR4 halogen free	Стеклотекстолит, несодержит галогена, сурьмы, фосфора, и др., не токсичен при горении	>140°C	4,7	1,1
FR4 High Tg, FR5	Материал со сшитой сеткой, повышенная термостойкость (RoHS-совместимый)	>160°C	4,6	1,2...1,4
RCC	Эпоксидный материал без стеклянной тканой основы	>130°C	4,0	1,3...1,5
PD	Полиимидная смола с арамидной основой	>260°C	4,4	5...6,5
СВЧ (PTFE)	Фторопласт со стеклом или керамикой	240...280°C	2,2...10,2	32...70
СВЧ (non-PTFE)	СВЧ-материалы, не основанные на PTFE	240...280°C	3,5	10
PI (полиимид)	Материал для гибких и гибко-жестких плат	195...220°C	3,4	6

Tg- температура стеклования (размягчения); ϵ_r - диэлектрическая проницаемость.

9. Материалы СВЧ

Материал	ϵ_r , 10 ГГц	Потери	Диэлектрик, мм	Фольга, мм
Rogers				
Ro4003	3,38	0,0027	0,2; 0,51; 0,81;	18; 35
Ro4350	3,48	0,0037	0,17; 0,25; 0,51; 0,762; 1,52	18; 35
препрег Ro4003	3,17	0,005	0,1	-
препрег Ro4450	3,54	0,004	0,1	-
Arlon				
AR-1000	10	0,0035	0,61	18
AD600L	6	0,0035	0,787	35
AD255IM	2,55	0,0018	0,762	35
AD350A	3,5	0,003	0,5; 0,762	35
DICLAD527	2,5	0,0022	0,5; 0,762; 1,52	35
25N	3,38	0,0025	0,5; 0,762	18; 35
препрег 25N 1080	3,38	0,0025	0,099	-
препрег 25N 2112	3,38	0,0025	0,147	-
25FR	3,58	0,0035	0,5; 0,762	18; 35
препрег 25FR 1080	3,58	0,0035	0,099	-
препрег 25FR 2112	3,58	0,0035	0,147	-
Nelco N4000-13	3,7	0,008	0,1...1,5	18; 35
Isola 370HR	3,85	0,025	0,05...2,4	18; 35; 70

10. Базовая толщина фольги (медь)

Вес меди (oz)	Толщина (мкм)	Наличие
1/8	5	По запросу
1/4	9	По запросу
1/2	18	Есть
1	35	Есть
2	70	По запросу
3	105	По запросу
6	210	По запросу

Для внешних слоев обычно используется фольга 18 мкм с последующим наращиванием меди.

11. Толщина “ядра” (внутренние слои МПП)

Медь, мкм	18 (1/2oz)	35 (1oz)	70(2oz)	105(3oz)и 210 (6 oz)
Толщина, мкм				
50	По запросу	По запросу	По запросу	По запросу
75	По запросу	По запросу	По запросу	По запросу
100	Есть	Есть	Есть	По запросу
200	Есть	Есть	Есть	По запросу
... с шагом 100	Есть	Есть	Есть	По запросу
1000	Есть	Есть	Есть	По запросу

Допуск на толщину ядра: +/-10%,и это определяет допуск на общую толщину МПП. Для внутренних слоев рекомендуется использовать ядра с фольгой 35 мкм, в том числе при ширине проводника и зазора 0.1 мм.

12. Виды и толщина препрегов

Тип препрега	Толщина (после прессования)	Наличие
1080	66 мкм	Есть
2116	105 мкм	Есть
7628	180 мкм	Есть
2113	100 мкм	По запросу
3313	80 мкм	По запросу
106 no-flow	50 мкм	Для гибко-жестких ПП
1080no-flow	66 мкм	Для гибко-жестких ПП

1. Возможное отклонение толщины слоя препрега: -5 / +25 мкм, в зависимости от стека МПП.

2. Допустимое количество смежных слоев препрега в МПП – от 2 до 4.

3. Иногда можно использовать одиночный слой:

- медь 17 мкм – можно использовать 1 слой 1080, 2116 или 106
- медь 35 мкм – можно использовать 1 слой только для 2116

13. Примеры структур МПП

❖ 4 слоя, толщина стека 1.6+/-0.15 мм.

№ слоя	Материал	Тощина, мкм
1	фольга+металлизация	18+35
	1080*1 + 7628*1	245
2,3	ядро 1.0mm 35/35um	1070
	1080*1 + 7628*1	245
4	фольга+металлизация	18+35

❖ 6 слоев, толщина стека 1.6+/-0.15 мм.

№ слоя	Материал	Тощина, мкм
1	фольга+металлизация	18+35
	1080*1 + 7628*1	245
2,3	ядро 0.36mm 35/35um	430
	7628*1	180
4,5	ядро 0.36mm 35/35um	430
	1080*1 + 7628*1	245
6	фольга+металлизация	18+35

❖ 8 слоев, толщина стека 1.6+/-0.15 мм

№ слоя	Материал	Толщина, мкм
1	фольга+металлизация	18+35
	1080*2	130
2,3	ядро 0.25mm 35/35um	320
	7628*1	180
4,5	ядро 0.21mm 35/35um	280
	7628*1	180
6,7	ядро 0.25mm 35/35um	320
	1080*2	130
8	фольга+металлизация	18+35

❖ 10 слоев, толщина стека 1.6+/-0.15мм

№ слоя	Материал	Толщина, мкм
1	фольга+металлизация	18+35
	1080*2	130
2,3	ядро 0.13mm 35/35um	200
	2116*1	100
4,5	ядро 0.21mm 35/35um	280
	2116*1	100
6,7	ядро 0.21mm 35/35um	280
	2116*1	100
8,9	ядро 0.13mm 35/35um	200
	1080*2	130
10	фольга+металлизация	18+35

❖ 12 слоев, толщина стека 1,6 мм +/-0.15мм.

№ слоя	Материал	Толщина, мкм
1	фольга+металлизация	18+35
	2116*1	100
2,3	ядро 0.1mm 35/35um	170
	2116*1	100
4,5	ядро 0.1mm 35/35um	170
	2116*1	100
6,7	ядро 0.1mm 35/35um	170
	2116*1	100
8,9	ядро 0.1mm 35/35um	170
	2116*1	100
10,11	ядро 0.1mm 35/35um	170
	2116*1	100
12	фольга+металлизация	18+35

❖ 16 слоев, толщина стека 1,6 мм +/-0.15мм.

№ слоя	Материал	Толщина, мкм
1	фольга+металлизация	12+35
	2116*1	100
2,3	ядро 0.05mm 35/35um	120
	3313*1	80
4,5	ядро 0.075mm 18/18um	110
	3313*1	80
6,7	ядро 0.05mm 35/35um	120
	3313*1	80
8,9	ядро 0.075mm 18/18um	110
	3313*1	80
10,11	ядро 0.05mm 35/35um	120
	3313*1	80
12,13	ядро 0.075mm 18/18um	110
	3313*1	80
14,15	ядро 0.05mm 35/35um	120
	2116*1	100
16	фольга+металлизация	12+35

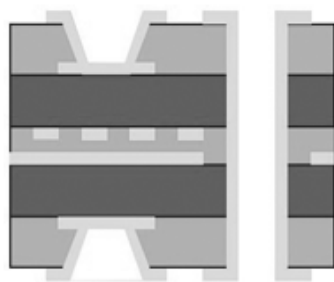
14. Рекомендуемая структура глухих и скрытых переходных отверстий



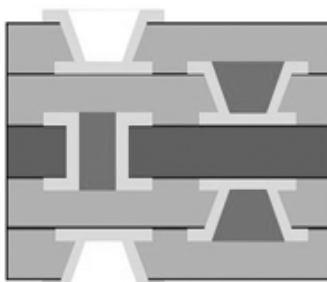
4 слоя, мин. вариант μ Via



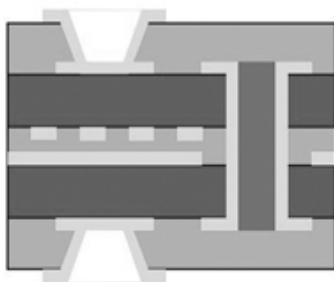
4 слоя μ Via и скрытые
- отверстия



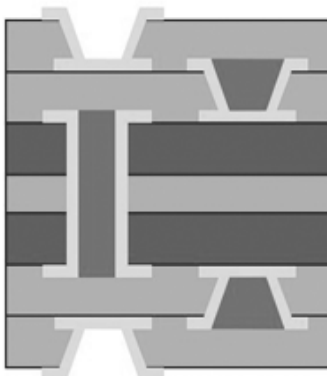
6 слоев μ Via



6 слоев, 2 вида μ Via с двух
сторон



6...24 слоя, μ Via, скрытые
отверстия (1-n-1)



8 и более слоев, 2-n-2

Список используемой литературы

1. ГОСТР 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции.
2. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. Кечиев Л.Н. – М.: ООО "Группа ИДТ", 2007.
3. Многослойные печатные платы. PCBtechnology, 2009.
4. Расчёты волнового сопротивления в программе PolarSi9000