

СПРАВОЧНИК ИНЖЕНЕРА-КОНСТРУКТОРА



2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Материалы и конструкции

Соответствие стандартам	4
Максимальные размеры печатных плат	10
Возможные конструкции гибко-жестких многослойных печатных плат	10
Типовые сборки многослойных печатных плат	11
Рекомендации по проектированию гибких печатных плат	12
Рекомендации по проектированию гибко-жестких печатных плат	13
Рекомендации по выбору базовой толщины фольги	16
Выбор минимальной толщины препрода	17
Расчет номинальных монтажных отверстий	17
Рекомендации по выбору диаметра монтажного отверстия	18

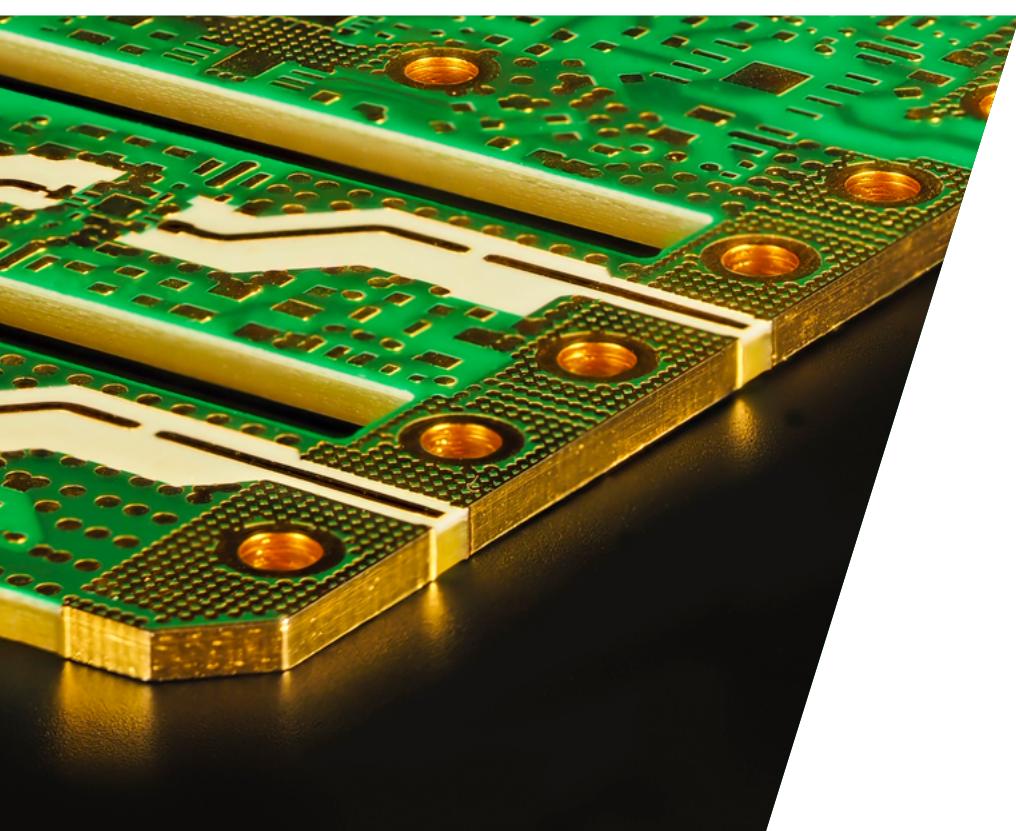
Специальные технологии

Тентирование	20
Заполнение переходных отверстий эпоксидным компаундом с последующей металлизацией	20
Обратное высверливание	21
Металлизированный торец печатной платы	22
Частичный доступ ко внутренним слоям печатной платы	22
Сверление глухих переходных отверстий на глубину	23
Металлизированный несквозной паз	23
Соединения с выводами под запрессовку	24
Зенкование отверстий	24
Металлизированные полуотверстия	24
Диэлектрические постоянные для базового материала, препрода и маски	25
Калькуляторы импеданса	26
Оборудование для измерений	27
Распространенные ошибки при расчете импедансов	27

Подготовка проекта под автоматический монтаж

Правила размещения компонентов	30
Контактные площадки	30
Реперные метки	31
Технологические поля	32
Разделение заготовок на платы	32
Фрезерование	33
Выбор финишного покрытия	33

Материалы и конструкции



СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ

IPC-4101/99 FR4

Армирование	1: Тканое стекловолокно (Woven E-glass) Основное: Эпоксидная смола Дополнительное 1: Универсальная эпоксидная смола (Multifunctional epoxy)	2:N/A Дополнительное 2: Модифицированная эпоксидная смола (Modified Epoxy) или ненепоксидная (Non-epoxy) (max. wt. 5%)
Связующее вещество	Бромсодержащие добавки, соответствующие требованиям RoHS	Минимальный UL94 требование: V-0
Негорючая добавка		
Наполнители (≥ 5%)		Содержит неорганические наполнители
Ссылка на ID		UL/ANSI: FR-4/99
Температура стеклования (Tg) UL Max, Operating Temp		150°C минимум AABUS

№	Требование к ламинату	Параметры <0.50 mm [<>0.0197 in]	Параметры ≥0.50 mm [≥0.0197 in]	Единицы измерения	Метод испытания	Ссылка на пункт
1	Прочность на отрыв, минимум / Peel Strength, min					
	A. Низкопрофильная (Low profile) медная фольга и очень низкопрофильная (very low profile) медная фольга - вес меди больше, чем ½ oz.	0.70 [4.00]	0.70 [4.00]	N/mm [lb/inch]	2.4.8 2.4.8.2 2.4.8.3	3.9.1.1 3.9.1.1.1 3.9.1.1.2 3.9.1.1.3
	B. Медная фольга стандартного профиля / Standard profile copper foil					
	1. После термического стресса / After Thermal Stress 2. При 125°C [257°F] 3. После технологического раствора / After Process Solutions	0.80 [4.57] 0.70 [4.00] 0.55 [3.14]	1.05 [6.00] 0.70 [4.00] 0.80 [4.57]			
2	Удельное сопротивление, минимум / Volume Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10 ⁶	—	MΩ·cm	2.5.17.1	3.11.1.3
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10 ⁴			
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10 ³	10 ³			
3	Поверхностное сопротивление, минимум / Surface Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10 ⁴	—	MΩ	2.5.17.1	3.11.1.4
	B. После испытания на влагостойкость / After moisture resistance	—	10 ⁴			
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10 ³	10 ³			
4	Поглощение влаги, максимум / Moisture Absorption, max	—	0.5	%	2.6.2.1	3.12.1.1
5	Диэлектрический пробой, минимум / Dielectric Breakdown, min	—	40	kV	2.5.6	3.11.1.6
6	Диэлектрическая проницаемость при 1 Hz, максимум / Permittivity at 1 Hz, max (Laminate & prepreg as laminated)*	5.4	5.4	—	2.5.5.2 2.5.5.3 2.5.5.9	3.12.1.1 3.12.2.1
7	Тангенс угла потерь при 1 Hz, максимум / Loss Tangent at 1MHz, max (Laminate & prepreg as laminated)*	0.035	0.035	—	2.5.5.2 2.5.5.3 2.5.5.9	3.11.1.2 3.11.2.2
8	Прочность на изгиб, минимум / Flexural Strength, min					
	A. Продольное направление / Length direction B. Поперечное направление / Cross direction	— —	415 [60,190] 345 [50,040]	N/mm ² [lb/inch ²]	2.4.4	3.9.1.3
9	Прочность на изгиб при повышенных температурах, продольное направление, минимум / Flexural Strength at Elevated Temperature, length direction, min	—	—	N/mm ² [lb/inch ²]	2.4.4.1	3.9.1.4
10	Дугостойкость, минимум / Arc Resistance, min	60	60	s	2.5.1	3.11.1.5
11	Тепловая нагрузка 10 с при 288°C [550.4°F], минимум / Thermal Stress 10 s at 288°C [550.4°F],min					
	A. Нетравленный (Unetched) B. Травленный (Etched)	Pass Visual	Pass Visual	rating	2.4.13.1	3.10.1.2
12	Электрическая прочность, минимум / Electric Strength, min (Laminate & prepreg as laminated)*	30	—	kV/mm	2.5.6.2	3.11.1.7 3.11.2.3
13	Воспламеняемость / Flammability (Laminate & prepreg as laminated)**	V-0 минимум	V-0 минимум	rating	UL94	3.10.2.1 3.10.1.1
14	Температура стеклования / Glass Transition Temperature					
15	Температура распада / Decomposition Temperature	—	325 минимум	°C	2.4.24.6 (5% wt loss)	3.10.1.10
16	Z-AXISCTE					
	A. Alpha 1 B. Alpha 2 C. от 50 до 260°C	— — —	60 максимум 300 максимум 3,5 максимум	PPM/°C PPM/°C %	2.4.24	3.10.1.11
17	Время на деламинацию (отслаивание фольги) Time to Delaminate (TMA) (Copper removed)					
	A. T260 B. T288 C. T300	— — —	30 минимум 5 минимум AABUS	минуты	2.4.24.1 с изменениями в 3.10.1.12	3.10.1.12

IPC-4101/126 FR4 Tg170

Армирование	1: Тканое стекловолокно (Woven E-glass)	2:N/A
Связующее вещество	Основное: Эпоксидная смола Дополнительное 1: Универсальная эпоксидная смола (Multifunctional epoxy) Бромсодержащие добавки, соответствующие требованиям RoHS	Дополнительное 2: Модифицированная эпоксидная смола (Modified Epoxy) или неэпоксидная (Non-epoxy) (max. wt. 5%)
Негорючая добавка		Минимальный UL94 требование: V-0
Наполнители ($\geq 5\%$)		
Ссылка на ID	Содержит неорганические наполнители UL/ANSI: FR-4/126	
Температура стеклования (Tg) UL Max. Operating Temp	170°C минимум 130 °C	

Nº	Требование к ламинату	Параметры $<0.50 \text{ mm}$ [$<0.0197 \text{ in}$]	Параметры $\geq 0.50 \text{ mm}$ [$\geq 0.0197 \text{ in}$]	Единицы измерения	Метод испытания	Ссылка на пункт
1	Прочность на отрыв, минимум / Peel Strength, min					
	A. Низкопрофильная (low profile) медная фольга и очень низкопрофильная (very low profile) медная фольга - вес меди больше 17 μm [0.669mil].	0.70 [4.00]	0.70 [4.00]			3.9.1.1
	B. Медная фольга стандартного профиля / Standard profile copper foil					3.9.1.1.1
	1. После термического стресса / After Thermal Stress 2. При 125°C [257°F] 3. После технологического раствора / After Process Solutions	0.80 [4.57] 0.70 [4.00] 0.55 [3.14]	1.05 [6.00] 0.70 [4.00] 0.80 [4.57]	N/mm [lb/inch]	2.4.8 2.4.8.2 2.4.8.3	3.9.1.1.2 3.9.1.1.3
	C. Вся остальная фольга - композит / All other foil - composite	AABUS	AABUS			
2	Удельное сопротивление, минимум / Volume Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10^6	—			
	B. После испытания на влагостойкость / After moisture resistance	—				
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^3	10^4 10^3	MΩ·см	2.5.17.1	3.11.1.3
3	Поверхностное сопротивление, минимум / Surface Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10^4	—			
	B. После испытания на влагостойкость / After moisture resistance	—	10^4			
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^3	10^3	MΩ	2.5.17.1	3.11.1.4
4	Поглощение влаги, максимум / Moisture Absorption, max	—	0.5	%	2.6.2.1	3.12.1.1
5	Дизелектрический пробой, минимум / Dielectric Breakdown, min	—	40	kV	2.5.6	3.11.1.6
6	Дизелектрическая проницаемость при частоте, максимум / Permittivity at Frequency, max (Laminate & prepreg as laminated)*					
	1 MHz 1 GHz 10 GHz	5.4	5.4	—	2.5.5.2 2.5.5.3 2.5.5.9 2.5.5.5	3.12.1.1 3.12.2.1
7	Тангенс угла потерь при частоте, максимум / Loss Tangent at Frequency, max (Laminate & prepreg as laminated)*					
	1 MHz 1 GHz 10 GHz	0.035	0.035	—	2.5.5.2 2.5.5.3 2.5.5.9 2.5.5.5	3.11.1.2 3.11.2.2
8	Прочность на изгиб, минимум / Flexural Strength, min					
	A. Продольное направление / Length direction B. Поперечное направление / Cross direction	— —	415 [60,190] 345 [50,040]	N/mm ² [lb/inch ²]	2.4.4	3.9.1.3
9	Прочность на изгиб при повышенных температурах, продольное направление, минимум / Flexural Strength at Elevated Temperature, length direction, min	—	—	N/mm ² [lb/inch ²]	2.4.4.1	3.9.1.4
10	Дугостойкость, минимум / Arc Resistance, min	60	60	s	2.5.1	3.11.1.5
11	Тепловая нагрузка 10 с при 288°C [550.4°F], минимум / Thermal Stress 10 s at 288°C [550.4°F],min					
	A. Нетравленный (Unetched) B. Травленный (Etched)	Pass Visual	Pass Visual	rating	2.4.13.1	3.10.1.2
12	Электрическая прочность, минимум / Electric Strength, min (Laminate & prepreg as laminated)*	30	—	kV/mm	2.5.6.2	3.11.1.7 3.11.2.3
13	Воспламеняемость / Flammability (Laminate & prepreg as laminated)*	V-0 минимум	V-0 минимум	rating	UL94	3.10.2.1 3.10.1.1
14	Температура стеклования / Glass Transition Temperature	—	170 минимум	°C	2.4.24 2.4.25	3.10.1.6
15	Температура распада / Decomposition Temperature	—	340 минимум	°C	2.4.24 (5% wt loss)	3.10.1.10

Армирование	Тканое стекловолокно
Связующее вещество	Углеводород
Наполнитель	Керамика
Диапазон диэлектрической проницаемости	3.25 - 3.45
Рабочая частота диэлектрической проницаемости	10^6 или 10^{10} Hz
Номинальная диэлектрическая проницаемость	A - 3.25, B - 3.38, X - AABUS

№	Требование к ламинату	Параметры <0.76 mm [<0.030 in]	Параметры >0.76 mm [>0.030 in]	Единицы измерения	Метод испытания	Ссылка на пункт
1	Прочность на отрыв, минимум / Peel Strength, min					
	A. Низкопрофильная (Low profile) медная фольга и очень низкопрофильная (very low profile) медная фольга - вес меди больше, чем $\frac{1}{2}$ oz.	AABUS	AABUS			
	B. Медная фольга стандартного профиля / Standard profile copper foil					
	1. После термического стресса After Thermal Stress	0.54 [3.01]	0.54 [3.01]	N/mm [lb/inch]	2.4.8	3.9.1.1
	2. При 150°C [221°F]	0.54 [3.01]	0.54 [3.01]		2.4.8.2	3.9.1.1.1
	3. После технологического раствора After Process Solutions	0.54 [3.01]	0.54 [3.01]		2.4.8.3	3.9.1.1.2
	C. Вся остальная фольга - композит All other foil - composite	AABUS	AABUS			3.9.1.1.3
2	Удельное сопротивление, максимум / Volume Resistivity, max					
	A. C-96/35/90	10^6	—			
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^6	MΩ·см	2.5.17.1	3.11.1.3
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^5	10^5			
3	Поверхностное сопротивление, минимум / Surface Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10^4	—			
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^4	MΩ	2.5.17.1	3.11.1.4
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^3	10^3			
4	Поглощение влаги, максимум Moisture Absorption, max	0.25	0.25	%	2.6.2.1	3.12.1.1
5	Диэлектрический пробой, минимум Dielectric Breakdown, min	34	34	kV	2.5.6	3.11.1.6
6	Диэлектрическая проницаемость при 10^{10} Hz, максимум / Permittivity at 10^{10} Hz, max	As Specified Above	As Specified Above	—	2.5.5.3 2.5.5.5 2.5.5.6	3.11.1.1 3.11.2.1
7	Тангенс угла потерь при 10^{10} Hz, максимум Loss Tangent at 10^{10} Hz, max	0.004	0.004	—	2.5.5.3 2.5.5.5	3.11.1.2 3.11.2.2
8	Прочность на изгиб, минимум / Flexural Strength, min					
	A. Продольное направление Length direction	—	310 [44,970]	N/mm ² [lb/inch ²]		
	B. Поперечное направление Cross direction	—	228 [33,070]		2.4.4	3.9.1.3
9	Тепловая нагрузка 10 с при 288°C [550°F], минимум / Thermal Stress 10 s at 288°C [550°F],min					
	A. Нетравленный / Unetched	Pass Visual	Pass Visual	s	2.4.13.1	3.10.1.2
	B. Травленный / Etched	Pass Visual	Pass Visual			
10	Электрическая прочность, минимум Electric Strength, min	—	—	V/mm [V/mil]	2.5.6.2	3.11.1.6 3.11.2.3
11	Воспламеняемость / Flammability					
	A. Среднее время горения, максимум Average burn time, max	N/A	N/A	s	2.3.9	3.10.2.1
	B. Индивидуальное время горения, максимум Individual burn time, max	N/A	N/A		2.3.10	3.10.1.1
12	Коэффициент термического расширения, средний максимум (СТЕ)					
	X,Y ось	—	—	ppm/°C	2.4.41	3.10.1.8
	Z ось	—	—		2.4.41.1	

Армирование	Тканое стекловолокно (Woven E-glass)
Связующее вещество	Углеводород
Наполнитель	Керамика
Диапазон диэлектрической проницаемости	3.40 - 3.60
Рабочая частота диэлектрической проницаемости	10^6 или 10^{10} Hz
Номинальная диэлектрическая проницаемость	A - 3.48, B - 3.58, X - AABUS

№	Требование к ламинату	Параметры <0.76 mm [<0.030 in]	Параметры >0.76 mm [>0.030 in]	Единицы измерения	Метод испытания	Ссылка на пункт
1	Прочность на отрыв, минимум / Peel Strength, min					
	A. Низкопрофильная (Low profile) медная фольга и очень низкопрофильная (very low profile) медная фольга - вес меди больше, чем $\frac{1}{2}$ oz.	AABUS	AABUS			
	B. Медная фольга стандартного профиля / Standard profile copper foil					
	1. После термического стресса After Thermal Stress	0.54 [3.01]	0.54 [3.01]	N/mm [lb/inch]	2.4.8	3.9.1.1
	2. При 150°C [221° F]	0.54 [3.01]	0.54 [3.01]		2.4.8.2	3.9.1.1.1
	3. После технологического раствора After Process Solutions	0.54 [3.01]	0.54 [3.01]		2.4.8.3	3.9.1.1.2
	C. Вся остальная фольга - композит All other foil - composite	AABUS	AABUS			3.9.1.1.3
2	Удельное сопротивление, минимум / Volume Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10^5	—			
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^5	MΩ·см	2.5.17.1	3.11.1.3
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^4	10^4			
3	Поверхностное сопротивление, минимум / Surface Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10^3	—			
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^3	MΩ	2.5.17.1	3.11.1.4
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^2	10^2			
4	Поглощение влаги, максимум / Moisture Absorption, max	0.25	0.25	%	2.6.2.1	3.12.1.1
5	Диэлектрический пробой, минимум / Dielectric Breakdown, min	30	30	kV	2.5.6	3.11.1.6
6	Диэлектрическая проницаемость при 10^{10} Hz, максимум / Permittivity at 10^{10} Hz, max	As Specified Above	As Specified Above	—	2.5.5.3 2.5.5.5 2.5.5.6	3.11.1.1 3.11.2.1
7	Тангенс угла потерь при 10^{10} Hz, максимум / Loss Tangent at 10^{10} Hz, max	0.006	0.006	—	2.5.5.3 2.5.5.5	3.11.1.2 3.11.2.2
8	Прочность на изгиб, минимум / Flexural Strength, min					
	A. Продольное направление Length direction	—	310 [44,970]	N/mm ² [lb/inch ²]	2.4.4	3.9.1.3
	B. Поперечное направление Cross direction	—	228 [33,070]			
9	Тепловая нагрузка 10 с при 288°C [550°F], минимум / Thermal Stress 10 s at 288°C [550°F],min					
	A. Нетравленный / Unetched	Pass Visual	Pass Visual	s	2.4.13.1	3.10.1.2
	B. Травленный / Etched					
10	Электрическая прочность, минимум / Electric Strength, min	—	—	V/mm [V/mil]	2.5.6.2	3.11.1.6 3.11.2.3
11	Воспламеняемость / Flammability					
	A. Среднее время горения, максимум Average burn time, max	5	5		2.3.9	3.10.2.1
	B. Индивидуальное время горения, максимум Individual burn time, max	10	10	s	2.3.10	3.10.1.1
12	Коэффициент термического расширения, средний максимум (СТЕ) / Coefficient of thermal expansion, mean maximum (CTE)					
	X,Y ось	—	—	ppm/°C	2.4.41	3.10.1.8
	Z ось	—	—		2.4.41.1	

Армирование	С тканым или нетканым стекловолокном (with or without woven or non woven e-glass)				
Связующее вещество	PTFE				
Наполнитель	Керамика				
Диапазон диэлектрической проницаемости	7.5 - 11.0				
Рабочая частота диэлектрической проницаемости	10^6 или 10^{10} Hz				
Номинальная диэлектрическая проницаемость	A - 9.8, B - 10.0, C - 10.2, D - 10.5, E - 10.8, X - AABUS*				

№	Требование к ламинату	Параметры <0.76 mm [<0.030 in]	Параметры >0.76 mm [>0.030 in]	Единицы измерения	Метод испытания	Ссылка на пункт
1	Прочность на отрыв, минимум / Peel Strength, min					
	A. Низкопрофильная (low profile) медная фольга и очень низкопрофильная (very low profile) медная фольга - вес меди больше, чем $\frac{1}{2}$ oz.	AABUS	AABUS	N/mm lb/inch]	2.4.8 2.4.8.2 2.4.8.3	3.9.1.1 3.9.1.1.1 3.9.1.1.2 3.9.1.1.3
	B. Медная фольга стандартного профиля / Standard profile copper foil					
	1. После термического стресса After Thermal Stress	0.71 [3.98]	0.54 [3.01]			
	2. При 150°C [221°F]	0.71 [3.98]	0.54 [3.01]			
	3. После технологического раствора After Process Solutions	0.71 [3.98]	0.54 [3.01]			
	C. Вся остальная фольга - композит All other foil - composite	AABUS	AABUS			
2	Удельное сопротивление, минимум / Volume Resistivity, min					
	A. С-96/35/90	10^3	—	MΩ·см	2.5.17.1	3.11.1.3
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^3			
	C. При повышенных температурах E-24/150 At elevated temperature E-24/150	10^3	10^3			
3	Поверхностное сопротивление, минимум / Surface Resistivity, min					
	A. С-96/35/90	10^3	—	MΩ	2.5.17.1	3.11.1.4
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^3			
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^3	10^3			
4	Поглощение влаги, максимум / Moisture Absorption, max	0.35	0.35	%	2.6.2.1	3.12.1.1
5	Диэлектрический пробой, минимум / Dielectric Breakdown, min	20	20	kV	2.5.6	3.11.1.6
6	Диэлектрическая проницаемость при 1010 Hz, максимум / Permittivity at 1010 Hz, max	As Specified Above	As Specified Above	—	2.5.5.3 2.5.5.5 2.5.5.6	3.11.1.1 3.11.2.1
7	Тангенс угла потерь при 1010 Hz, максимум / Loss Tangent at 1010 Hz, max	0.0035	0.0035	—	2.5.5.3 2.5.5.5	3.11.1.2 3.11.2.2
8	Прочность на изгиб, минимум / Flexural Strength, min					
	A. Продольное направление / Length direction	—	28 [4060] 21 [3050]	N/mm ² [lb/inch ²]	2.4.4	3.9.1.3
	B. Поперечное направление / Cross direction	—				
9	Тепловая нагрузка 10 с при 288°C [550°F], минимум / Thermal Stress 10 s at 288°C [550°F],min					
	A. Нетравленный (Unetched) B. Травленный (Etched)	Pass Visual Pass Visual	Pass Visual Pass Visual	s	2.4.13.1	3.10.1.2
10	Электрическая прочность, минимум / Electric Strength, min	—	—	V/mm [V/mil]	2.5.6.2	3.11.1.6 3.11.2.3
11	Воспламеняемость / Flammability					
	A. Среднее время горения, максимум Average burn time, max	5	5	s	2.3.9 2.3.10	3.10.2.1 3.10.1.1
	B. Индивидуальное время горения, максимум Individual burn time, max	10	10			
12	Коэффициент термического расширения, средний максимум (СТЕ) / Coefficient of thermal expansion, mean maximum (CTE)					
	X,Y ось Z ось	—	—	ppm/°C	2.4.41 2.4.41.1	3.10.1.8

Армирование	С тканым или нетканым стекловолокном (with or without woven or non woven e-glass)		
Связующее вещество	PTFE		
Наполнитель	Керамика		
Диапазон диэлектрической проницаемости	5.0 - 70		
Рабочая частота диэлектрической проницаемости	10^6 или 10^{10} Hz		
Номинальная диэлектрическая проницаемость	A - 6.00, B - 6.15, X - AABUS*		

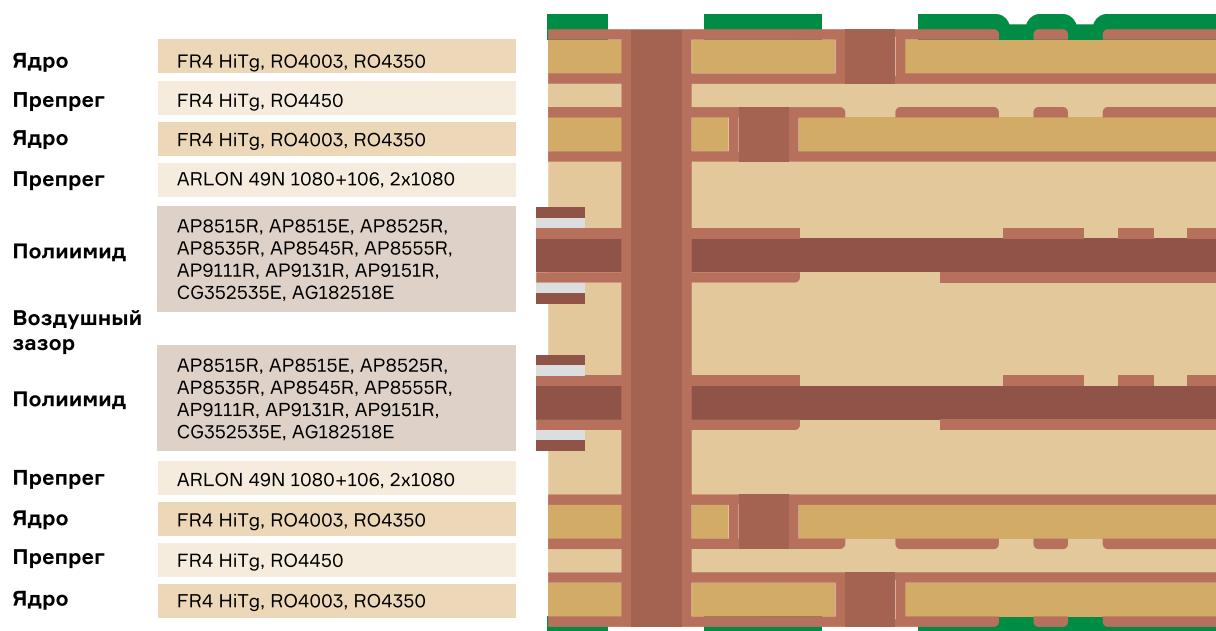
№	Требование к ламинату	Параметры <0,76 mm [<0,030 in]	Параметры >0,76 mm [>0,030 in]	Единицы измерения	Метод испытания	Ссылка на пункт
1	Прочность на отрыв, минимум / Peel Strength, min					
	A. Низкопрофильная (low profile) медная фольга и очень низкопрофильная (very low profile) медная фольга - вес меди больше, чем $\frac{1}{2}$ oz	AABUS	AABUS			
	B. Медная фольга стандартного профиля / Standard profile copper foil					
	1. После термического стресса After Thermal Stress	0.71 [3.98]	0.71 [3.98]		2.4.8	3.9.1.1
	2. При 150°C [221°F]	0.71 [3.98]	0.71 [3.98]		2.4.8.2	3.9.1.1.1
	3. После технологического раствора After Process Solutions	0.71 [3.98]	0.71 [3.98]		2.4.8.3	3.9.1.1.2
	C. Вся остальная фольга - композит All other foil - composite	AABUS	AABUS			3.9.1.1.3
2	Удельное сопротивление, минимум / Volume Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10^3	—			
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^3			
	C. При повышенных температурах E-24/150 At elevated temperature E-24/150	10^3	10^3	MΩ·см	2.5.17.1	3.11.1.3
3	Поверхностное сопротивление, минимум / Surface Resistivity, min					
	A. C-96/35/90	10^3	—			
	B. После испытания на влагостойкость After moisture resistance	—	10^3			
	C. При повышенных температурах E-24/125 At elevated temperature E-24/125	10^3	10^3	MΩ	2.5.17.1	3.11.1.4
4	Поглощение влаги, максимум / Moisture Absorption, max	0.35	0.35	%	2.6.2.1	3.12.1.1
5	Диэлектрический пробой, минимум / Dielectric Breakdown, min	20	20	kV	2.5.6	3.11.1.6
6	Диэлектрическая проницаемость при 1010 Hz, максимум / Permittivity at 1010 Hz, max	As Specified Above	As Specified Above	—	2.5.5.3 2.5.5.5 2.5.5.6	
7	Тангенс угла потерь при 1010 Hz, максимум / Loss Tangent at 1010 Hz, max	0.0030	0.0030	—	2.5.5.3 2.5.5.5	3.11.1.2 3.11.2.2
8	Прочность на изгиб, минимум / Flexural Strength, min					
	A. Продольное направление Length direction	—	28 [4060] 21 [3050]	N/mm ² [lb/inch ²]	2.4.4	3.9.1.3
	B. Поперечное направление Cross direction	—				
9	Тепловая нагрузка 10 с при 288°C [550°F], минимум / Thermal Stress 10 s at 288°C [550°F],min					
	A. Нетравленный / Unetched	Pass Visual	Pass Visual	s	2.4.13.1	3.10.1.2
	B. Травленный / Etched					
10	Электрическая прочность, минимум Electric Strength, min	—	—	V/mm [V/mil]	2.5.6.2	3.11.1.6 3.11.2.3
11	Воспламеняемость / Flammability					
	A. Среднее время горения, максимум Average burn time, max	5	5	s	2.3.9	3.10.2.1
	B. Индивидуальное время горения, максимум Individual burn time, max	10	10	s	2.3.10	3.10.1.1
12	Коэффициент термического расширения, средний максимум (СТЕ) / Coefficient of thermal expansion, mean maximum (CTE)					
	X,Y ось	—	—	ppm/°C	2.4.41	
	Z ось	—	—		2.4.41.1	3.10.1.8

МАКСИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Тип материала	Финишное покрытие	Стандартная заготовка		Специальная заготовка*	
		Одно-, двухсторонние	Многослойные платы	Одно-, двухсторонние	Многослойные платы
FR-4	ПОС-63, Иммерсионное золото / олово / серебро	390x490	350x490	—	—
СВЧ	ПОС-63, Иммерсионное золото / олово / серебро	193x285	191x261 в т.ч. гибридные	390x490	350x490 в т.ч. гибридные
Полиимид	Иммерсионное золото / олово / серебро	191x275	191x275 в т.ч. гибко-жесткие	279x426	279x426 в т.ч. гибко-жесткие
На алюминиевом основании	ПОС-63	390x490	—	—	—

* Применяется повышающий коэффициент к стоимости dm^2

ВОЗМОЖНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГИБКО-ЖЕСТКИХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ



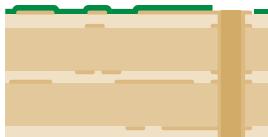
ТИПОВЫЕ СБОРКИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ (МЕТОД СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ)

4x-слойная печатная плата



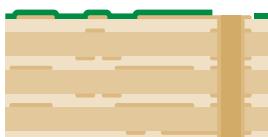
Толщина платы	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
Фольга 1	0,018	0,018	0,018	0,035	0,035	0,035
Препрег 1 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,315 (2116+7628)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,315 (2116+7628)
Ядро 1 (FR4)	0,71	1,20	1,20	0,51	1,20	1,20
Препрег 2 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,315 (2116+7628)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,315 (2116+7628)
Фольга 2	0,018	0,018	0,018	0,035	0,035	0,035
Итого	1,03	1,49	1,87	0,90	1,52	1,90

6-и слойная печатная плата



Толщина платы	1,0	1,5	2,0	1,5	2,0
Фольга 1	0,018	0,018	0,018	0,035	0,035
Препрег 1 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,201 (1080+2116)	0,201 (1080+2116)
Ядро 1 (FR4)	0,2	0,51	0,71	0,3	0,51
Препрег 2 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,25 (2x2116)	0,25 (2x2116)
Ядро 2 (FR4)	0,2	0,51	0,71	0,3	0,51
Препрег 3 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,201 (1080+2116)	0,201 (1080+2116)
Фольга 2	0,018	0,018	0,018	0,035	0,035
Итого	1,01	1,50	1,90	1,46	1,88

8-ми слойная печатная плата



Толщина платы	1,5	2,0	1,5	2,0
Фольга 1	0,018	0,018	0,035	0,035
Препрег 1 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)
Ядро 1 (FR4)	0,3	0,3	0,2	0,3
Препрег 2 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,315 (2116+7628)	0,201 (1080+2116)	0,25 (2x2116)
Ядро 2 (FR4)	0,3	0,3	0,2	0,3
Препрег 3 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,315 (2116+7628)	0,201 (1080+2116)	0,25 (2x2116)
Ядро 3 (FR4)	0,3	0,3	0,2	0,3
Препрег 4 общая толщина, тип	0,125 (1x2116)	0,315 (2116+7628)	0,125 (1x2116)	0,125 (1x2116)
Фольга 2	0,018	0,018	0,035	0,035
Итого	1,54	1,92	1,53	1,93

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГИБКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

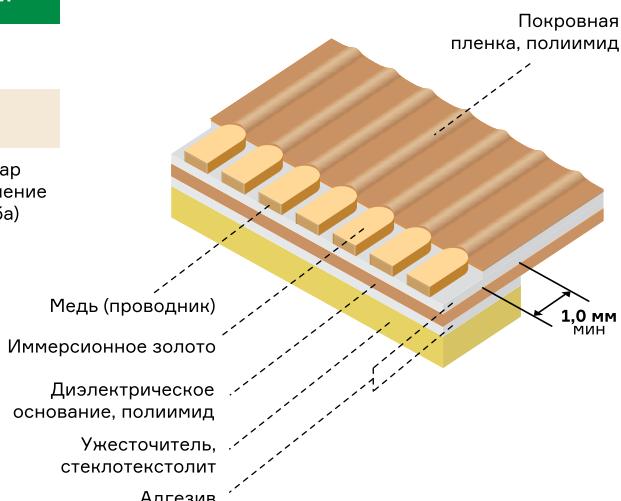
IPC 2223

Соотношение радиуса изгиба к общей толщине гибкой печатной платы

Число слоев	Статический	Динамический
1 Слой	1:10	1:100
2 Слоя	1:10	1:150
Многослойная (3 слоя и более)	1:20	Применять air gap (послойное разделение в области изгиба)

Растяжение
Сжатие
R радиус изгиба
1,2 мм рекомендуемый отступ отверстий от области изгиба
толщина
Металлизированное отверстие

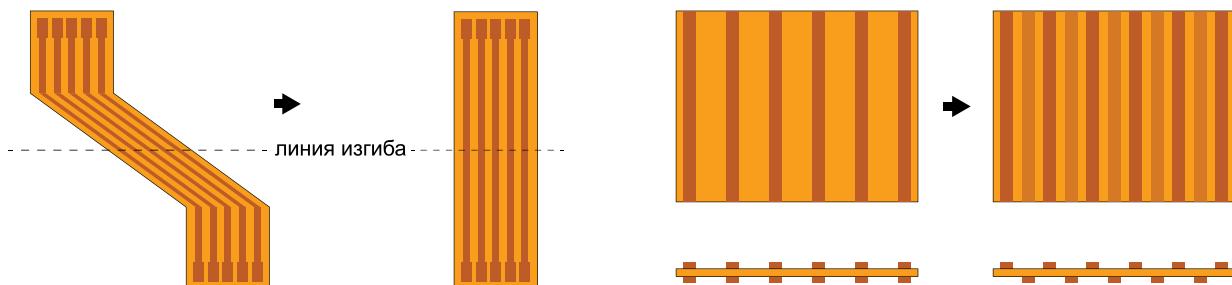
Область перекрытия ужесточителя и покровной пленки не менее 1 мм



В области изгиба необходимо проводить оптимизацию топологии для обеспечения равномерной нагрузки от возникающих напряжений (эти рекомендации взяты из общих требований к проектированию гибких печатных плат):

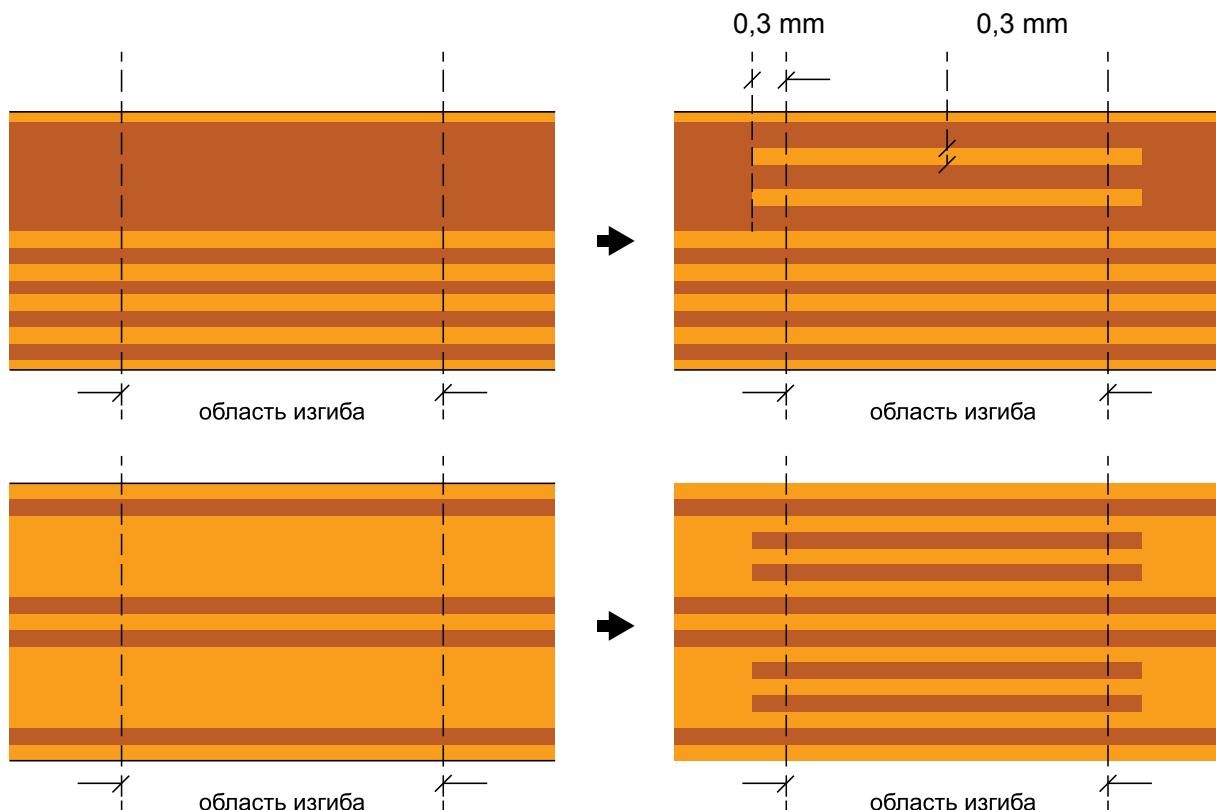
Расположение проводников в области изгиба должно быть перпендикулярно линии изгиба. Так же избегайте расположения контактных площадок и переходных отверстий в изгибающей области.

Для гибких участков с двумя и более проводящими слоями используйте поочередное распределение проводников, это позволит, в значительной степени, минимизировать возможные растяжения проводников при изгибе.



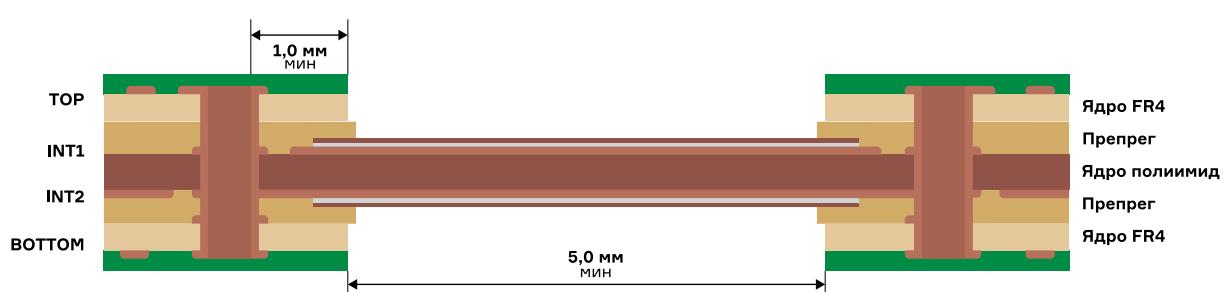
Для улучшения гибкости рекомендуется разделять широкие проводники на массивы из более тонких, сплошные полигоны заменять сетчатыми. Желательно заполнять пустые области дополнительными проводниками. Этот приём также повышает надёжность в области изгиба.

Оптимизация топологии в области изгиба

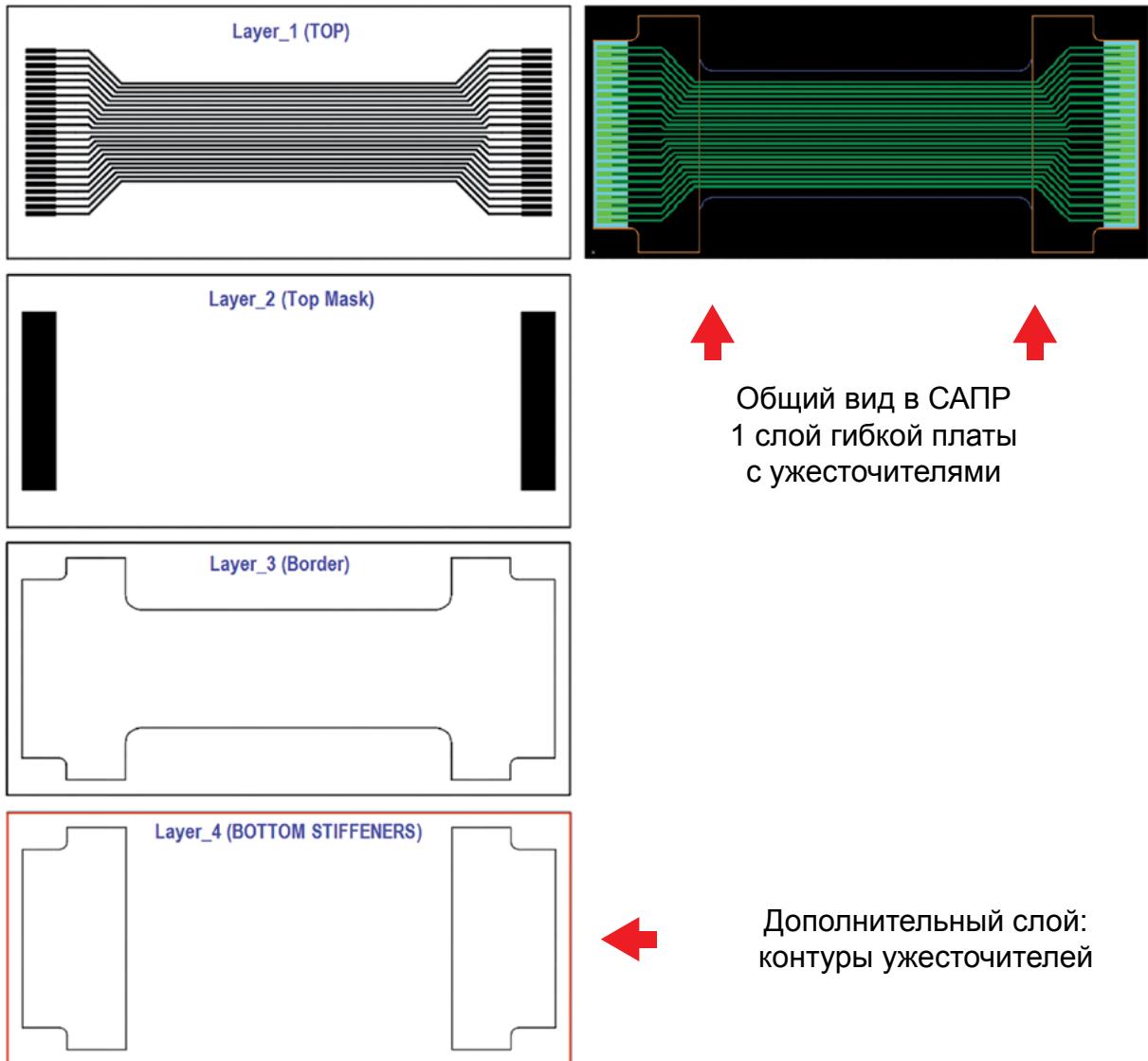


РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГИБКО-ЖЕСТКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

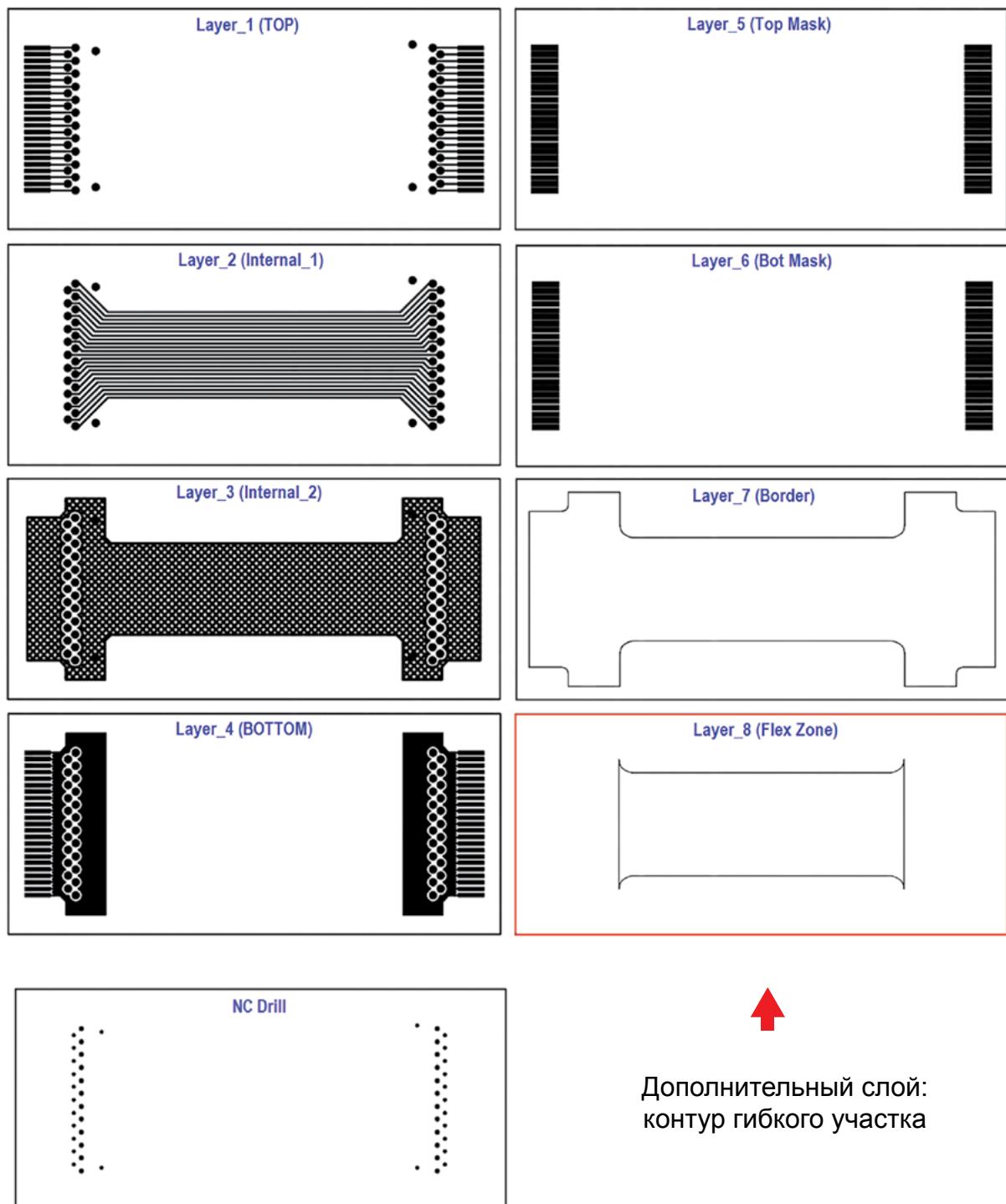
Параметр	Минимальное значение
Отступ от края переходного отверстия (VIA) до области перехода (жёсткая-гибкая часть)	1,0 мм
Отступ от края монтажных (DIP) отверстий до области перехода (жёсткая-гибкая часть)	1,5 мм
Длина гибкого участка	5,0 мм



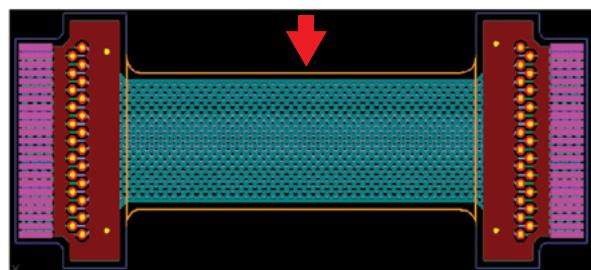
Оформление гибкой ОПП с ужесточителем в САПР



Оформление гибко-жесткой 4МПП в САПР

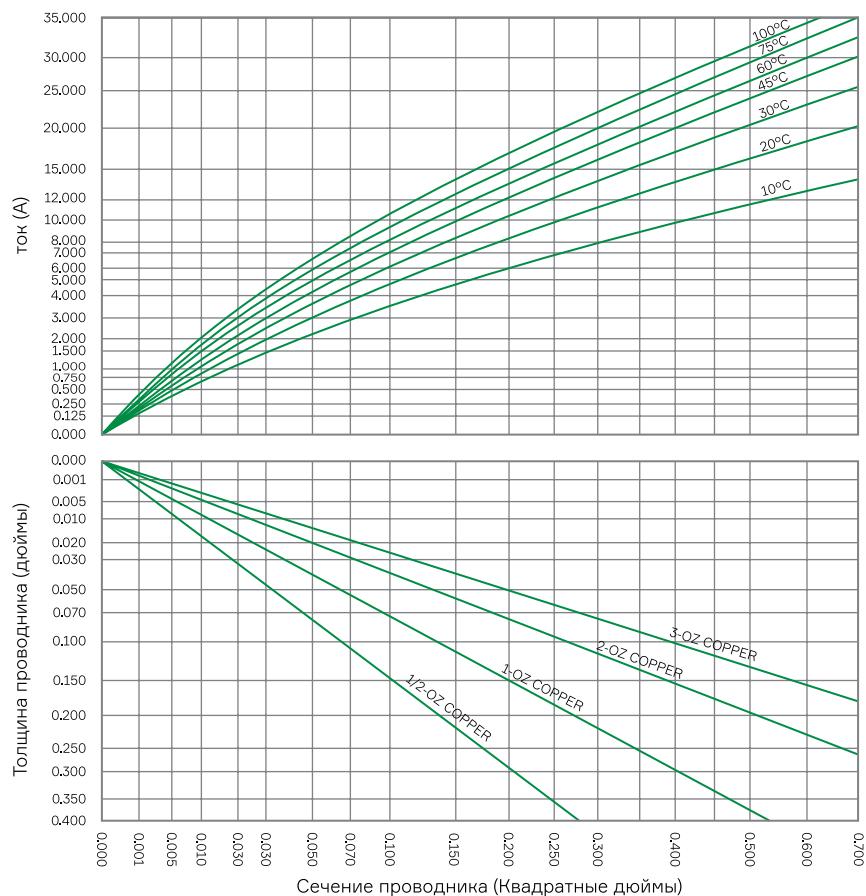


Общий вид в САПР
4 слоя гибко-жесткой платы

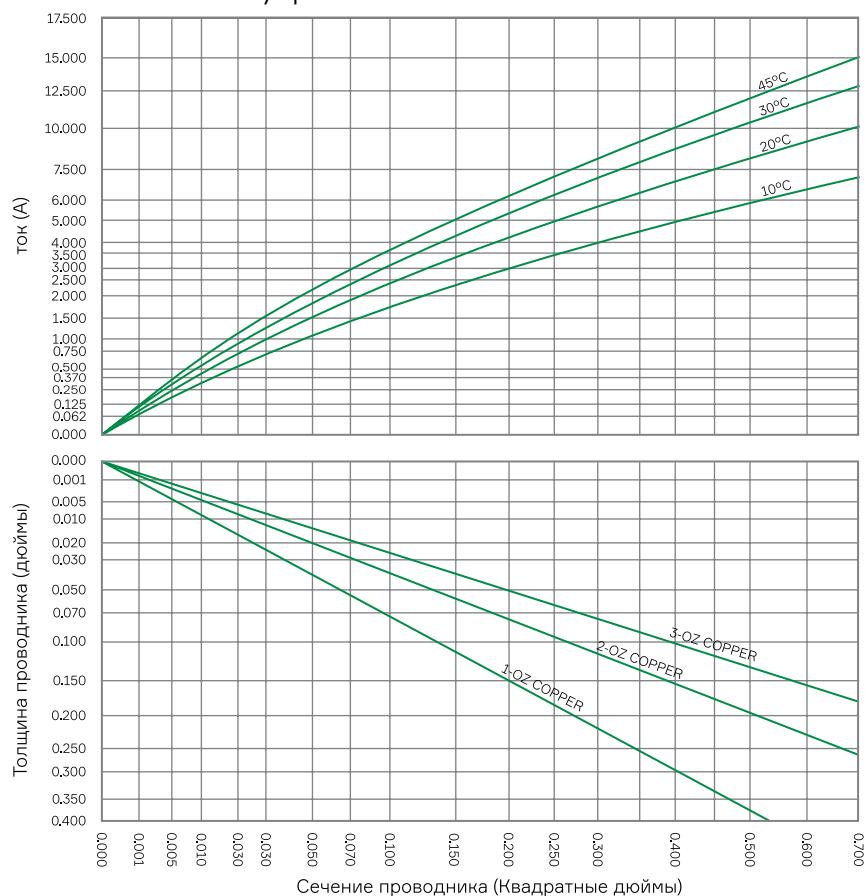


РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ БАЗОВОЙ ТОЛЩИНЫ ФОЛЬГИ

Внешние слои печатной платы



Внутренние слои печатной платы



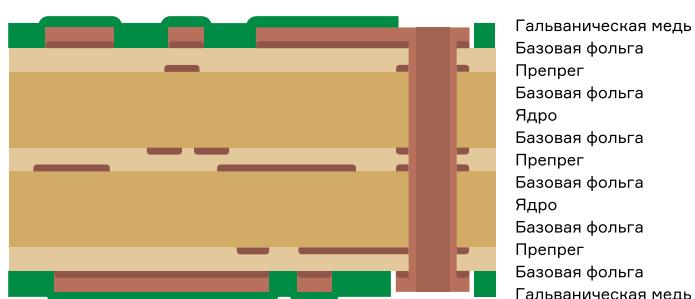
ВЫБОР МИНИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ПРЕПРЕГА

Слои	Минимальная толщина препрэга определяется из соотношения:
Для внешних слоев	базовая фольга Core x 3 ≤ толщины препрэга
Для внутренних слоев (ядер)	((базовая фольга Core1 + гальваническая медь*) + (базовая фольга Core2 + гальваническая медь*)) x 2 ≤ толщины препрэга

* При наличии металлизированных отверстий в ядрах

Толщина металлизации (гальваническая медь)

ГОСТ Р 55693-2013 Класс 2 Класс 3 и IPC-6012	Средняя толщина металлизации	20 мкм	25 мкм
	Минимальная толщина металлизации	18 мкм	20 мкм



РАСЧЕТ НОМИНАЛЬНЫХ МОНТАЖНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Выдержки из РД 50-708-91:

4.6.2.1. Номинальный диаметр монтажных металлизированных и неметаллизированных отверстий устанавливают, исходя из соотношения:

$$\Delta d - |\Delta d|_{\text{н.о.}} \geq d_{\text{Э}} + r,$$

где $|\Delta d|_{\text{н.о.}}$ - нижнее предельное отклонение диаметра отверстия;

$d_{\text{Э}}$ максимальное значение диаметра вывода ИЭТ*, устанавливаемого на печатную плату (для прямоугольного вывода за диаметр берется диагональ его сечения);

r - разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого ИЭТ.

ИЭТ* - изделия электронной техники.

Значение r рекомендуется выбирать с учетом допусков на расположение выводов на корпусе устанавливаемого ИЭТ и позиционного допуска расположения оси отверстия.

Расчетное значение диаметра монтажного отверстия следует округлять в сторону увеличения до десятых долей миллиметра.

4.6.2.2. Диаметр монтажного отверстия выбирают таким образом, чтобы значение g было от 0,1 до 0,4 мм при ручной установке ИЭТ и от 0,4 до 0,5 мм при автоматической. Уменьшение этого значения допускается по согласованию с заводом-изготовителем.

Предельные отклонения диаметров монтажных отверстий при автоматической установке ИЭТ устанавливают не ниже 3-го класса точности по ГОСТ 53429-2009, независимо от класса точности печатной платы.

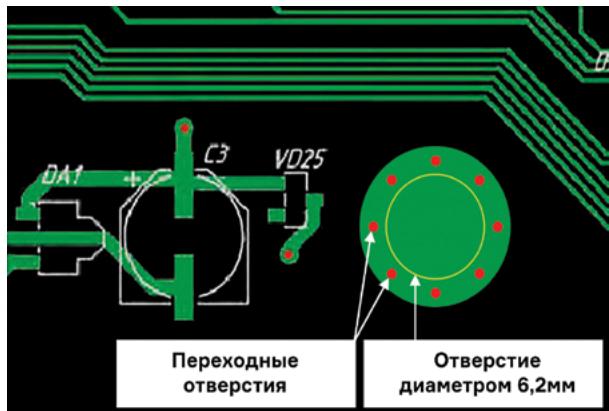
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ДИАМЕТРА МОНТАЖНОГО ОТВЕРСТИЯ

На производстве Резонит за основу принят ГОСТ 53429-2009, и желательно, чтобы ваши конструкторы также следовали этим нормам.

Конечно, возможна ситуация, когда закладываются иные допуски, но тогда нам приходится перестраиваться, а это, как показывает практика, может приводить к непредвиденным ошибкам.

Заметим также, что максимальный диаметр сверла у разных производителей обычно не превышает 6...6,5мм. Мы используем максимальное сверло 6мм. То есть, для получения отверстия диаметром более 6мм с металлизацией, его необходимо будет предварительно фрезеровать.

В этом случае стабильность получения металлизации в стакане отверстия ниже, чем при сверлении, поэтому для больших отверстий мы предлагаем применять иной подход - окантовку краев отверстия с выполнением нескольких металлизированных переходов малого диаметра.

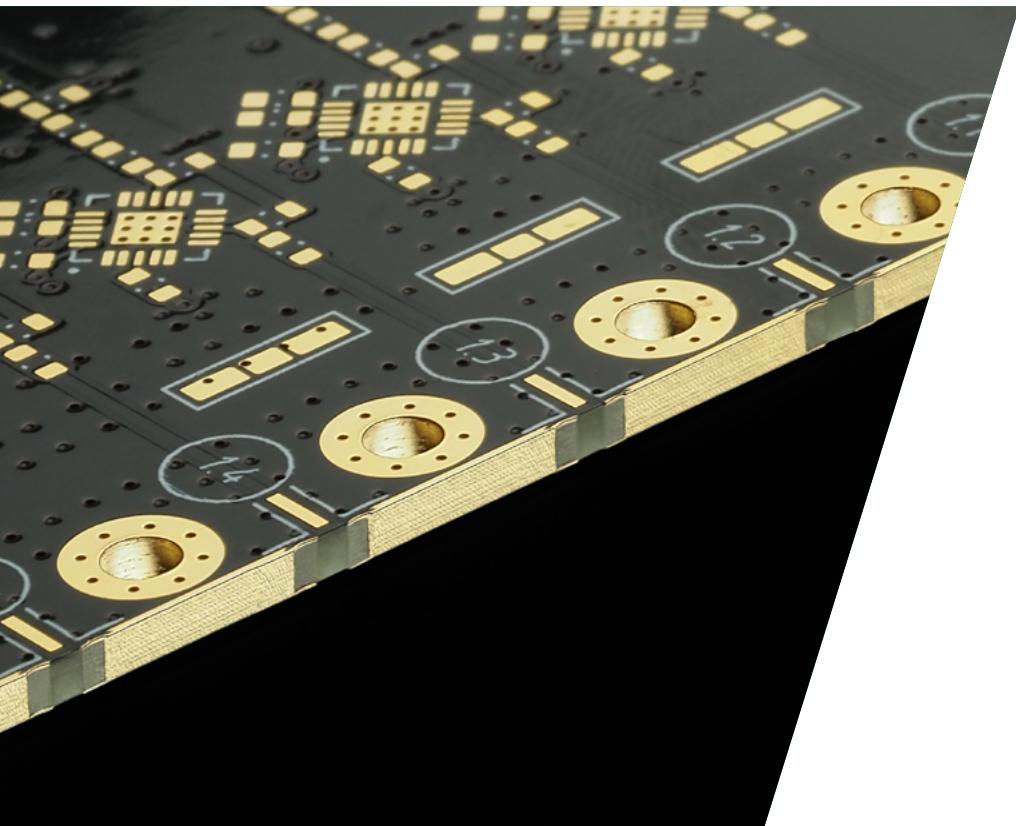


Окантовка металлизированных отверстий большого диаметра

Выбор диаметра монтажных отверстий (по ГОСТ 53429-2009)

Диаметр отверстия d , мм	Наличие металлизации	Предельное отклонение диаметра, для класса точности, мм						
		1	2	3	4	5	6	7
До 0,3 включительно	Без металлизации	-	-	-	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$	$\pm 0,02$
	С металлизацией без оплавления	-	-	-	$-0,03; -0,07$	$-0,03; -0,07$	$-0,02; -0,06$	$-0,02; -0,06$
	С металлизацией и с оплавлением	-	-	-	-	-	-	-
Свыше 0,3 до 1,0 включительно	Без металлизации	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$	$\pm 0,02$
	С металлизацией без оплавления	$+0,05; -0,15$	$+0,05; -0,15$	$+0; -0,10$	$+0; -0,10$	$+0; -0,10$	$-0,025; -0,075$	$-0,02; -0,05$
	С металлизацией и с оплавлением	$+0,05; -0,18$	$+0,05; -0,18$	$+0; -0,13$	$+0; -0,13$	$+0; -0,13$	-	-
Свыше 1,0	Без металлизации	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
	С металлизацией без оплавления	$+0,10; -0,20$	$+0,10; -0,20$	$+0,05; -0,15$	$+0,05; -0,15$	$+0,05; -0,15$	$+0; -0,10$	$-0,02; -0,08$
	С металлизацией и с оплавлением	$+0,10; -0,23$	$+0,10; -0,23$	$+0,05; -0,18$	$+0,05; -0,18$	$+0,05; -0,18$	-	-

Специальные технологии

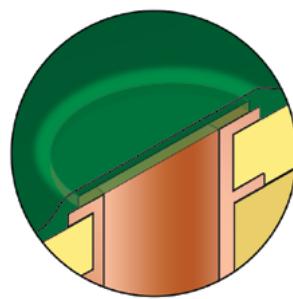


ТЕНТИРОВАНИЕ (TENTING)

Технология соответствует стандарту
IPC-4761 Type II b.

Данная технология применяется для дополнительной
электрической изоляции и/или защиты стенок переходных
отверстий от воздействий окружающей среды.

Диаметры переходных отверстий 100-1200 мкм.



ЗАПОЛНЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ ЭПОКСИДНЫМ КОМПАУНДОМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ (FILLED AND CAPPED VIA)

Технология соответствует стандарту IPC-4761 Type VII.

Данная технология обеспечивает:

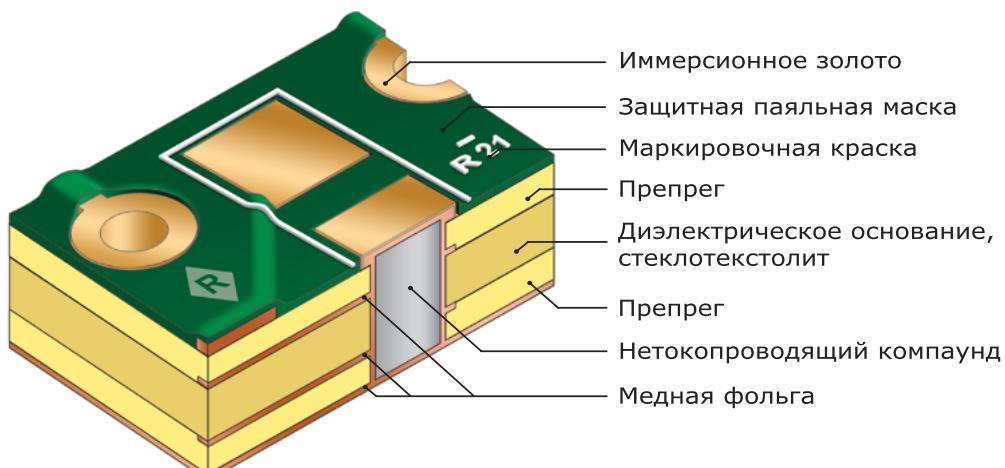
- Повышение плотности трассировки
- Улучшение электрических и механических свойств переходных отверстий
- Улучшение электромагнитных параметров
- Улучшение качества монтажа

Необходимо обозначить опцию заполнения переходных отверстий одним из способов:

- Рекомендуемый способ: выделить такие отверстия в отдельный инструмент, к примеру, 0,33 мм с площадкой 0,6 мм. В заказе указать на необходимость заполнения переходных отверстий 0,33 мм x 0,6 мм.
- Обозначить любым визуально понятным способом области с переходными отверстиями, подлежащими заполнению.
- В заказе указать на необходимость заполнения ВСЕХ переходных отверстий, например, от 0,1мм до 0,5мм.

На текущий момент доступны следующие параметры:

- минимальный / максимальный диаметр отверстия - 0,1 мм / 1,0 мм
- минимальная толщина печатной платы – 0,5 мм.

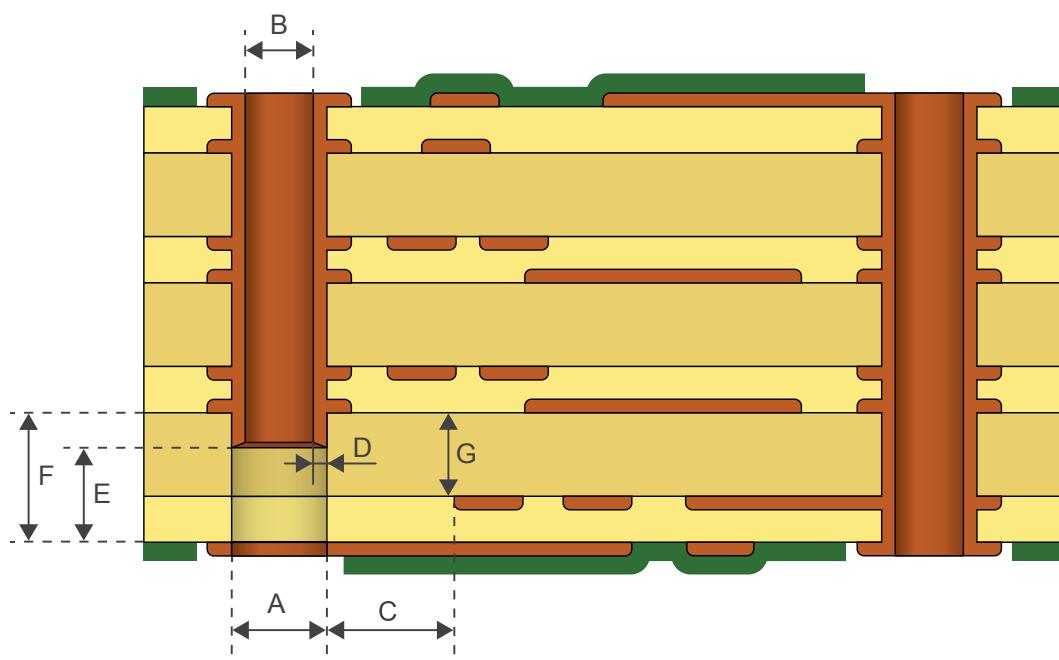


ОБРАТНОЕ ВЫСВЕРЛИВАНИЕ (BACK DRILL)

Процесс обратного высверливания удаляет неиспользуемые части из металлизированных отверстий. Неиспользуемые части (stubs) - это ненужные части отверстий, которые располагаются дальше, чем последний соединенный внутренний слой.

- Более низкий коэффициент битовых ошибок
- Меньшее затухание сигнала при улучшенном согласовании импеданса
- Увеличенная пропускная способность канала
- Повышенная скорость передачи данных
- Снижение уровня излучения электромагнитных помех от неиспользуемых частей

Отсутствуют ограничения, связанные с условиями осаждения гальванической меди (в отличие от глухих переходных отверстий)



$$E = F - G / 2 (+/-75) \text{ мкм}$$

Индекс	Тип	Минимальное значение
A	Обратное сверление	400 мкм
B	Переходное отверстие	200 мкм
C	Медный зазор	150 мкм
D	Разность диаметров	200 мкм
E	Глубина обратного сверления	200 мкм
F	Расстояние до подключенного слоя	
G	Толщина конечного слоя	200 мкм

МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЙ ТОРЦЕЦ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ (EDGE PLATING)

- Улучшение защиты от электромагнитных помех высокочастотных конструкций
- Улучшение заземления шасси в электронных системах

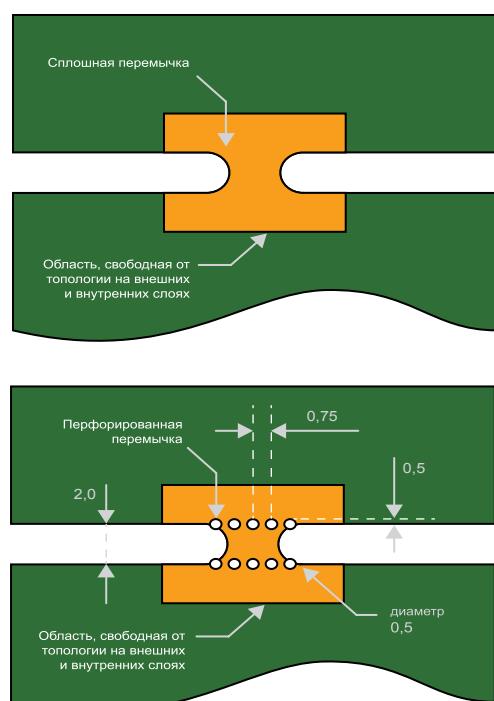
Торцевая металлизация выполняется на этапе формирования топологии до операции металлизации элементов схемы печатной платы, и иногда ее называют «металлизированная фрезеровка».

Минимальный поясок такой площадки 300 мкм. Требования по отступу топологии аналогичны выбранному варианту изготовления: Стандарт или Продвинутый.

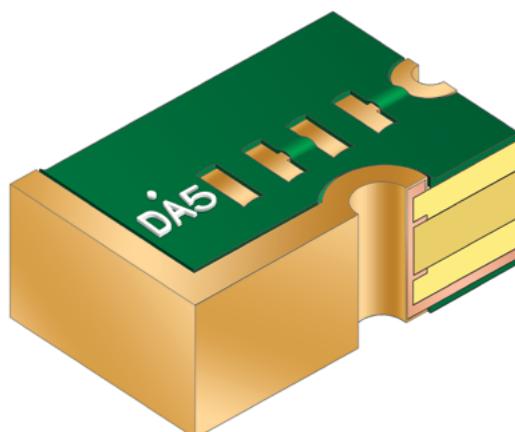
Минимальные размеры элементов:

Длина торца 2,0мм.

Ширина перемычки 2,0мм

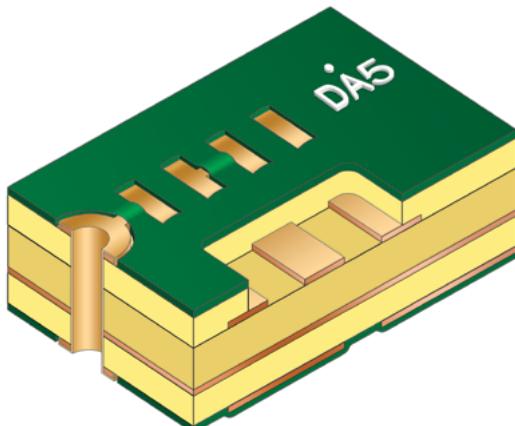


1. Фрезерованный паз должен быть «накрыт» площадкой шириной 2,6 мм, и это необходимо учитывать для соблюдения отступа топологии от металлизированного торца в соответствии с выбранными вариантами изготовления и базовыми материалами.
2. Минимальная длина металлизированного торца 2,0 мм



ЧАСТИЧНЫЙ ДОСТУП К ВНУТРЕННИМ СЛОЯМ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ (INTERNAL LAYER OPENINGS)

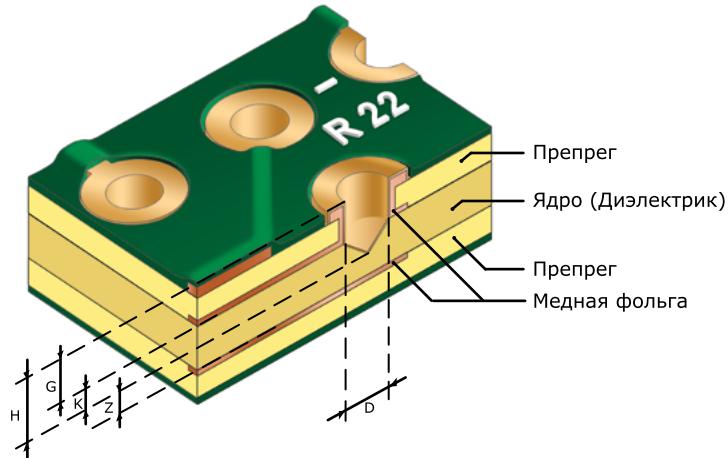
Применение низкотекучего препрега Arlon 49N позволяет нам выполнять многоуровневые конструкции печатных плат, в том числе с частичным доступом к внутренним слоям.



СВЕРЛЕНИЕ ГЛУХИХ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ НА ГЛУБИНУ (DEPTH DRILL)

Сверление отверстий на глубину $K = D * 0,134$; $H = G + K$

На специализированных станках с ЧПУ в плате сверлятся отверстия с контролем глубины.



D — диаметр сверла, мм

G — сумма всех толщин (диэлектрик базового материала, препреги и фольга), мм

Z — расстояние до ближайшего неподключеного слоя должно быть не менее 50 мкм для отверстий диаметром 0.20 мм и 0.25 мм; и не менее 100 мкм для отверстий диаметром более 0.25 мм

Максимальный диаметр отверстия для сверления на глубину – 0.70 мм

При $H/D \leq 0,75$ возможно изготовление печатной платы

При $0,75 <= H/D < 0,80$ требуется согласование с технологией изготовления печатной платы

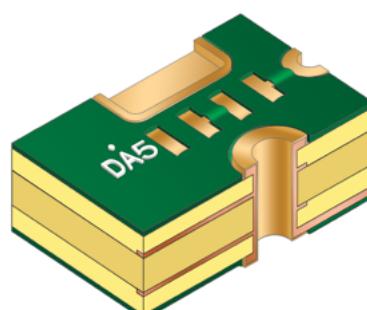
При $H/D \geq 0,80$ изготовить, обеспечив все требования стандартов, невозможно

МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЙ НЕСКВОЗНОЙ ПАЗ (CAVITY)

Структурные углубления обеспечивают дополнительную функциональность по сравнению со стандартной печатной платой.

Размещение компонентов с теплоотводом ниже поверхности, тем самым придавая собранной печатной плате более тонкий общий профиль.

Использование внутренних поверхностей паза для электрического контакта, как правило, заземления.



Факторы, которые учитываем при проектировании печатной платы:

Необходимы «площадки»

При изготовлении паза используется препрег с низкой текучестью 49N

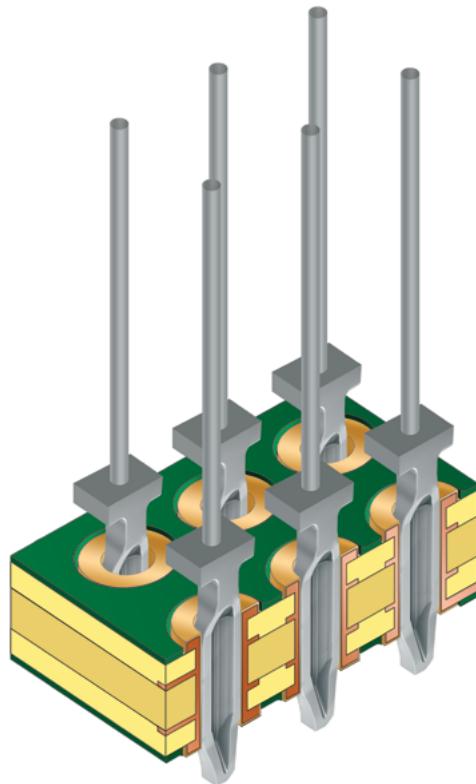
(50 мкм и 76 мкм) Dk 4,4 (1MHz)

IPC 6018 допускает вытекание препрега в паз на 0,74 мм

СОЕДИНЕНИЯ С ВЫВОДАМИ ПОД ЗАПРЕССОВКУ (PRESSFIT)

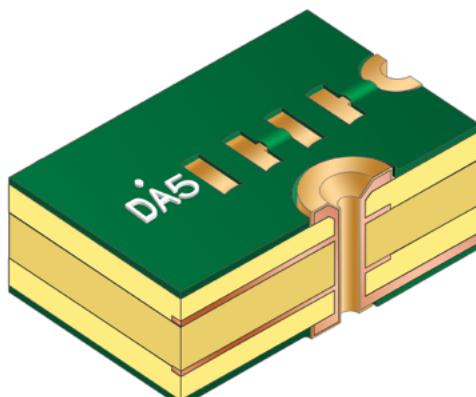
Непаяные методы соединения типа Press Fit подходят для изготовления супермногослойных плат (до 36 слоев). Соединения, выполняемые запрессовкой, обладают высоким уровнем надежности, при этом они лишены тех проблем, которые традиционно сопровождают процессы пайки. Данные соединения сравнительно просты в реализации, требуют минимального комплекта оборудования и отличаются экономической эффективностью, экологичностью и ремонтопригодностью.

Требования к толщине металлизации в отверстиях pressfit – не менее 30мкм.
Допуск на диаметр отверстия - +/-50мкм.



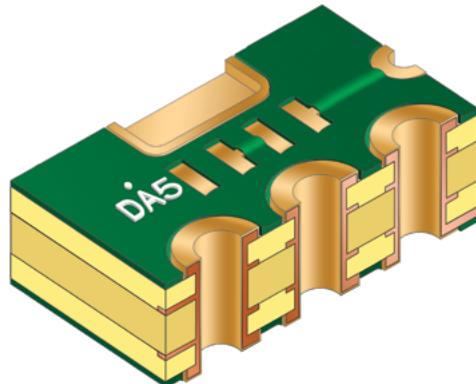
ЗЕНКОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ (COUNTERSINK)

Зенковки с углом при вершине 90, 120 и 140 градусов.
С помощью зенковки может быть снята фаска на разъемах для плат в панелях и расположенных в глубине платы.



МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ ПОЛУОТВЕРСТИЯ (PLATED HALF HOLES)

1. Минимальный диаметр 0,6 мм.
2. Минимальная площадка в зависимости от выбранной сложности (Стандарт или Продвинутый) +150 -200 мкм.
3. Минимальный зазор между площадками в зависимости от выбранной сложности (Стандарт или Продвинутый) 100-125 мкм для 18 мкм базовой фольги.



ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ ДЛЯ БАЗОВОГО МАТЕРИАЛА, ПРЕПРЕГА И МАСКИ

FR4

Марка	Толщина, мм	Dk* (1 MHz)
KB-6165F Core	0,10	3,7
	0,15	3,9
	0,20-0,25	4,1
	0,30-1,50	4,6
KB-6167F Core	0,10	4,0
	0,15	4,5
	0,20-0,25	4,3
	0,30	4,5
	0,50-1,50	4,7

Марка	Тип	Толщина, мм	Dk* (1 MHz)
KB-6165F Prepreg	106	0,05	3,3
	1080	0,076	3,6
	2116	0,127	4,2
	7628	0,193	4,6
KB-6167F Prepreg	106	0,05	3,9
	1080	0,069	4,2
	2116	0,125	5,07
	7628	0,191	5,14

* Статистическое значение

СВЧ

Марка	Толщина ядра, мм	Фольга, мкм	Dk** (10 GHz)
RO4003C	0,203	18	3,55
	0,305	18	
	0,508	18 / 35	
	0,813	18 / 35	
	1,524	18	
RO4350B	0,254	18	3,66
	0,338	18	
	0,508	18 / 35	
	0,762	18 / 35	
	1,524	18	
	0,101	18	
RO3003	0,254	35	3,0
	0,508	35	
	0,762	35	
RO4450F	0,102	—	3,52
Arlon AD1000	0,508	18	10,0
	0,635	18	10,2
	1,27	18	10,6
Arlon TC600	0,508	18	6,15
Arlon AD250	0,508	18	2,5
Arlon AD255C	1,016	18 / 35	2,6
	1,524	18 / 35	
	2,032	18 / 35	
Arlon CuClad 6700	0,08	—	2,35
Arlon 49N (тип 106)	0,05	—	4,4 (1MHz)
Arlon 49N (тип 1080)	0,076	—	4,4 (1MHz)

** Данные производителя

High Speed

Марка	Core, мм	Cu, мкм	Сумма, мм	Допуск, +/-мм	Dk								
					1GHz	2GHz	5GHz	10GHz	15GHz	20GHz			
TU-872 SLK FR-4 IPC-4101/126	0,102	18/18	0,138	0,013	3,51	3,33	3,34	3,32	3,28	3,27			
					3,51	3,33	3,34	3,32	3,28	3,27			
	0,152	18/18	0,188	0,018	3,68	3,52	3,52	3,5	3,46	3,45			
					3,68	3,52	3,52	3,5	3,46	3,45			
	0,254	18/18	0,29	0,025	3,9	3,77	3,76	3,72	3,69	3,67			
					3,9	3,77	3,76	3,72	3,69	3,67			
	0,533	18/18	0,569	0,05	3,86	3,72	3,71	3,68	3,64	3,63			
					3,86	3,72	3,71	3,68	3,64	3,63			
TU-87P SLK FR-4 IPC-4101/126													
106 RC76	0,064			0,013	3,38	3,19	3,21	3,19	3,16	3,15			
1080 RC64	0,076			0,013	3,68	3,52	3,52	3,5	3,46	3,45			

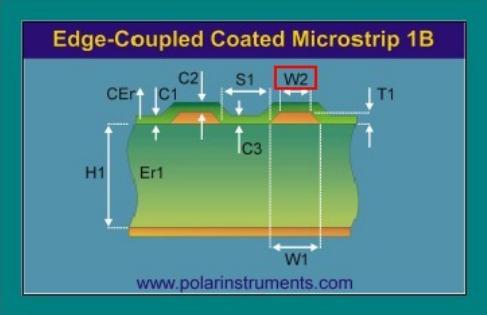
Паяльная маска. Толщина слоя 25 мкм, Dk=3,5

КАЛЬКУЛЯТОРЫ ИМПЕДАНСА

Параметры для использования в калькуляторах импедансов

Толщина проводника рассчитывается с учетом гальванической меди

Расчетные значения	Двусторонняя печатная плата		Многослойная печатная плата		
	типовoy процесс	типовoy процесс	двойная металлизация		
Базовая фольга, мкм	18	35	18	35	18
Внешние слои, мкм	45	60	45	60	55
Внутренние слои, мкм	—	—	15	30	40



Edge-Coupled Coated Microstrip 1B
www.polarinstruments.com

	Tolerance	Minimum	Maximum		
Substrate 1 Height	H1	[127,0000 ± 0,0000]	127,0000	127,0000	<button>Calculate</button>
Substrate 1 Dielectric	Er1	[4,2000 ± 0,0000]	4,2000	4,2000	<button>Calculate</button>
Lower Trace Width	W1	[100,0000 ± 0,0000]	100,0000	100,0000	
Upper Trace Width	W2	[75,0000 ± 0,0000]	75,0000	75,0000	<button>Calculate</button>
Trace Separation	S1	[108,0000 ± 0,0000]	108,0000	108,0000	<button>Calculate</button>
Trace Thickness	T1	[45,0000 ± 0,0000]	45,0000	45,0000	<button>Calculate</button>
Coating Above Substrate	C1	[25,0000 ± 0,0000]	25,0000	25,0000	
Coating Above Trace	C2	[25,0000 ± 0,0000]	25,0000	25,0000	
Coating Between Traces	C3	[25,0000 ± 0,0000]	25,0000	25,0000	
Coating Dielectric	CEr	[3,5000 ± 0,0000]	3,5000	3,5000	

Notes: (First 5 lines will print)

Add your comments here

Interface Style: Standard Extended

Differential Impedance: Zdiff 100.16 100.16 Calculate More...

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ

При производстве печатных плат с контролем импеданса измерения проводятся в соответствии с требованиями IPC-2141A. Методом TDR (Метод импульсной рефлектометрии).

Мы используем следующие приборы:

- ST600 фирмы Zmetrix
- CITS880s фирмы Polar

Измерения на фиксированных частотах не предусмотрены стандартом и невозможны в виду отсутствия таких настроек в оборудовании.

РАСПРОСТРАНЕННЫЕ ОШИБКИ ПРИ РАСЧЕТЕ ИМПЕДАНСОВ

Погрешность +/- 10% — это не допуск в расчетах, а погрешность при производстве за счет допусков на материалы.

Параметры материалов берём у производителя: толщины, Dk, возможность сборки

1. Неправильно считать, что одиночная линия такой же толщины, что и в диффпаре, имеет сопротивления 50% от дифференциального сопротивления пары

The screenshot shows two versions of a cross-sectional diagram for a differential trace and a single trace, followed by their respective parameter tables.

Top Diagram: 100 ом на внешних (100 ohms on external). It shows a differential pair with two traces of width W1 separated by S1, with a total height H1. Dielectric constants Er1 are shown for the substrate and coating layers. Coatings C1, C2, and C3 are indicated between the traces and the substrate.

Bottom Diagram: одиночный от дифф 100 (single trace from diff 100). It shows a single trace of width W1 with a total height H1. Dielectric constants Er1 are shown for the substrate and coating layers. Coatings C1, C2, and C3 are indicated between the trace and the substrate.

Parameter Tables:

		Tolerance	Minimum	Maximum	
Substrate 1 Height	H1	0,10000 ± 0,00000	0,10000	0,10000	Calculate
Substrate 1 Dielectric	Er1	3,3000 ± 0,00000	3,3000	3,3000	Calculate
Lower Trace Width	W1	0,10000 ± 0,00000	0,10000	0,10000	
Upper Trace Width	W2	0,07500 ± 0,00000	0,07500	0,07500	Calculate
Trace Separation	S1	0,10100 ± 0,00000	0,10100	0,10100	Calculate
Trace Thickness	T1	0,04500 ± 0,00000	0,04500	0,04500	Calculate
Coating Above Substrate	C1	0,02540 ± 0,00000	0,02540	0,02540	Calculate
Coating Above Trace	C2	0,02540 ± 0,00000	0,02540	0,02540	Calculate
Coating Between Traces	C3	0,02540 ± 0,00000	0,02540	0,02540	Calculate
Coating Dielectric	CEr	3,5000 ± 0,00000	3,5000	3,5000	Calculate

		Zdiff	99,97	99,97	99,97	Calculate
Differential Impedance	Zdiff	99,97	99,97	99,97	99,97	Calculate

		Tolerance	Minimum	Maximum	
Substrate 1 Height	H1	0,10000 ± 0,00000	0,10000	0,10000	Calculate
Substrate 1 Dielectric	Er1	3,3000 ± 0,00000	3,3000	3,3000	Calculate
Lower Trace Width	W1	0,10000 ± 0,00000	0,10000	0,10000	
Upper Trace Width	W2	0,07500 ± 0,00000	0,07500	0,07500	Calculate
Trace Thickness	T1	0,04500 ± 0,00000	0,04500	0,04500	Calculate
Coating Above Substrate	C1	0,02540 ± 0,00000	0,02540	0,02540	Calculate
Coating Above Trace	C2	0,02540 ± 0,00000	0,02540	0,02540	Calculate
Coating Dielectric	CEr	3,5000 ± 0,00000	3,5000	3,5000	Calculate

		Zo	66,04	66,04	66,04	Calculate
Impedance	Zo	66,04	66,04	66,04	66,04	Calculate

2. Подтрав необходиимо учитывать

The screenshot shows a cross-sectional diagram for a single trace with etching and its corresponding parameter table.

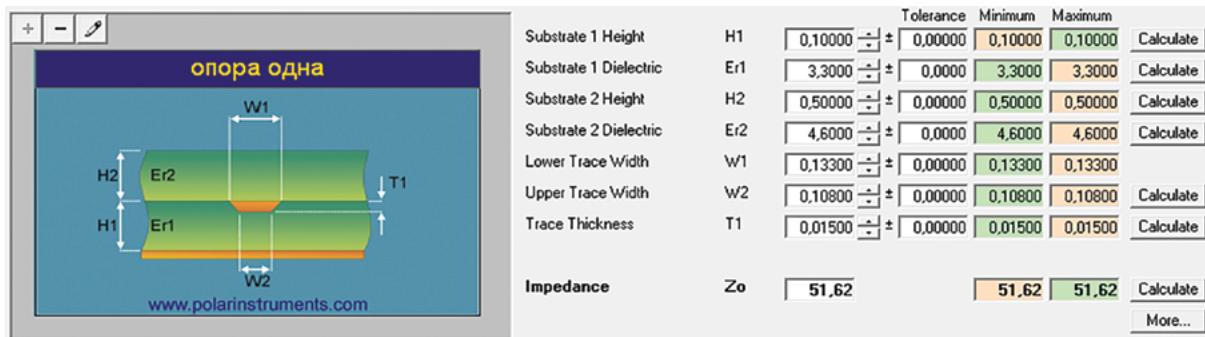
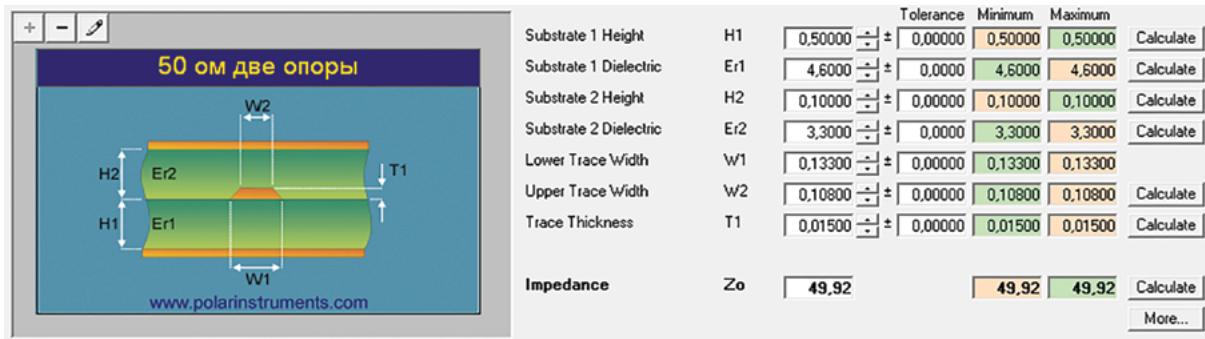
Diagram: без подтрава (no etching). It shows a single trace of width W2 with a total height H2. The trace is etched into a substrate of thickness H1. Dielectric constants Er2 are shown for the substrate and coating layers. Coatings C1, C2, and C3 are indicated between the trace and the substrate.

Parameter Tables:

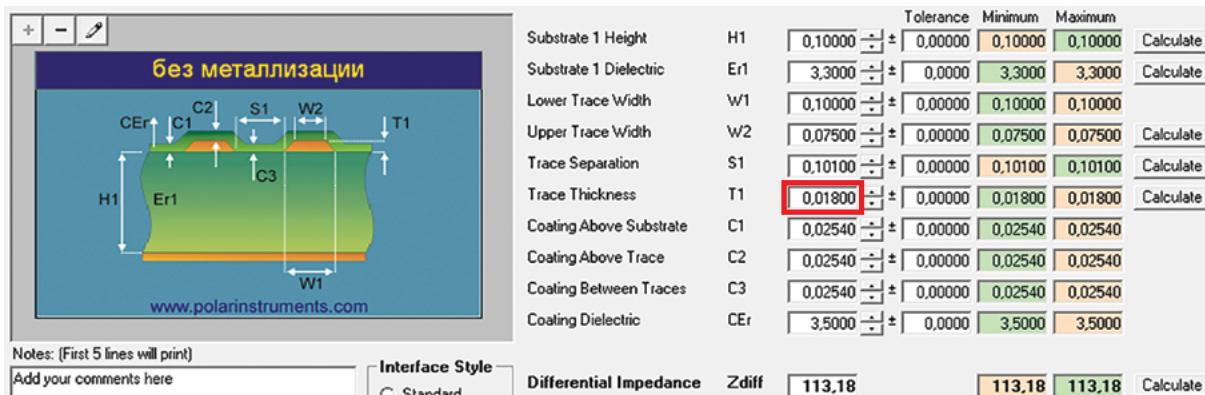
		Tolerance	Minimum	Maximum	
Substrate 1 Height	H1	0,50000 ± 0,00000	0,50000	0,50000	Calculate
Substrate 1 Dielectric	Er1	4,6000 ± 0,00000	4,6000	4,6000	Calculate
Substrate 2 Height	H2	0,10000 ± 0,00000	0,10000	0,10000	Calculate
Substrate 2 Dielectric	Er2	3,3000 ± 0,00000	3,3000	3,3000	Calculate
Lower Trace Width	W1	0,13300 ± 0,00000	0,13300	0,13300	
Upper Trace Width	W2	0,13300 ± 0,00000	0,13300	0,13300	Calculate
Trace Thickness	T1	0,01500 ± 0,00000	0,01500	0,01500	Calculate

		Zo	48,12	48,12	48,12	Calculate
Impedance	Zo	48,12	48,12	48,12	48,12	Calculate

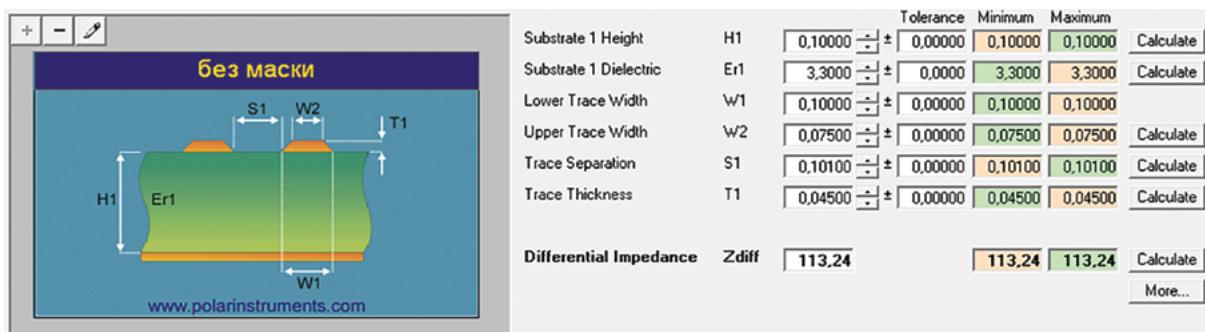
3. Неправильно считать, что опорный слой один



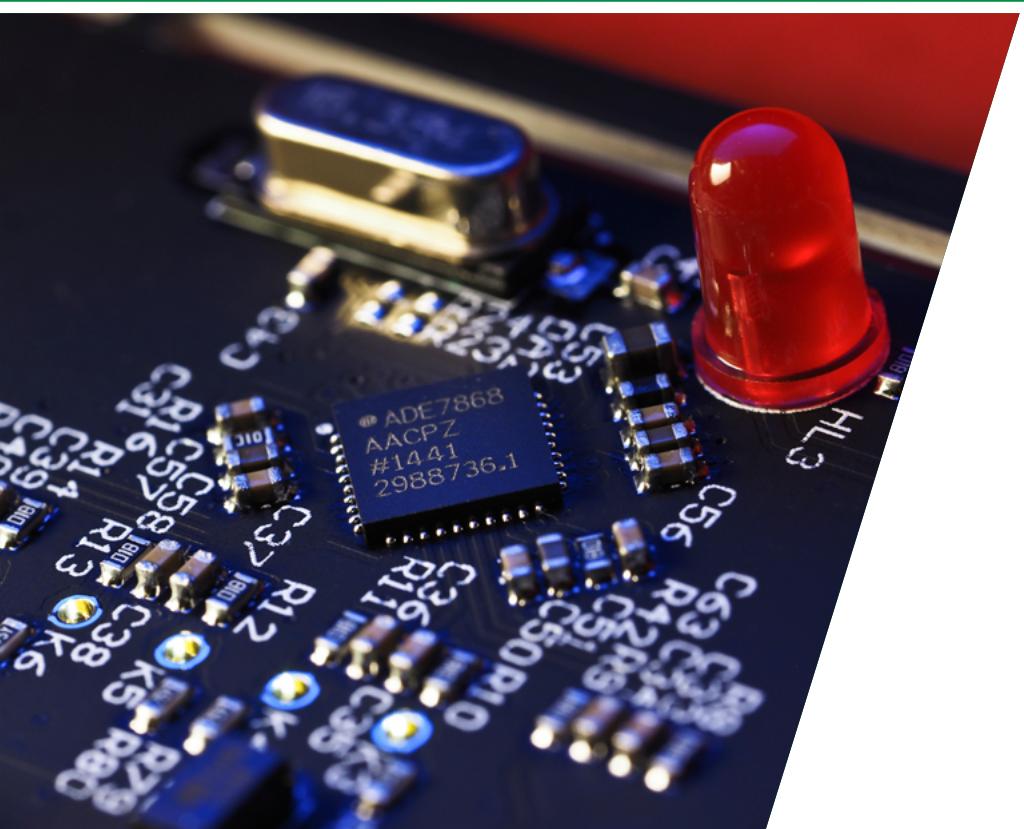
4. Гальваническую медь нужно учитывать



5. Маску на внешних слоях нужно учитывать



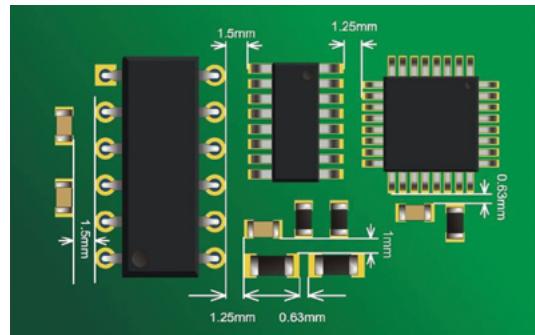
Подготовка проекта под автоматический монтаж



ПРАВИЛА РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ

1. Убедитесь в актуальности библиотеки компонентов.
2. Проверьте зазоры и отступы от края платы контактных площадок и проводников. Низкопрофильные, чип компоненты рекомендуется размещать на расстоянии не ближе чем 1,25 мм от края (при наличии технологических полей, без полей – не менее 5 мм от края до площадки или реперного знака), высокие компоненты - 6 мм и более. Это позволит снизить риск повреждения компонентов при разделении мультиплексированных плат (панелей).

У компонентов должны быть прорисованы реальные габариты или зона, занимаемая компонентом, с учетом пространства, необходимого для инспекции и ремонта.



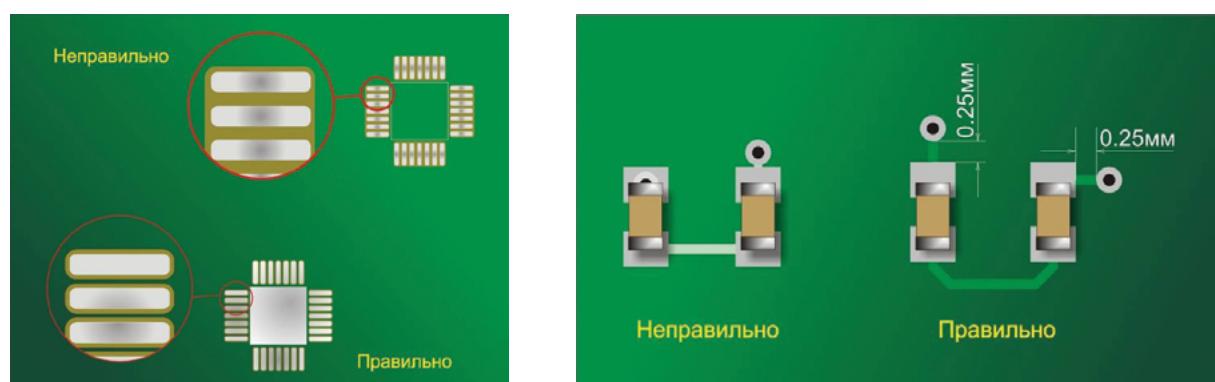
Размещение соседних компонентов стоит выполнять с учетом этой зоны. Габариты разъемов или других компонентов, выходящих за пределы платы должны быть прорисованы полностью.

3. При возможности размещайте компоненты с одной стороны ПП, при двустороннем монтаже компоненты желательно размещать равномерно. На двусторонних платах тяжелые и крупногабаритные компоненты необходимо располагать с одной стороны печатной платы, чтобы избежать подклейки и/или проблем при пайке второй стороны.

КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ

Контактные площадки для конкретного типа компонентов должны соответствовать именно этому компоненту и быть сделаны в соответствии со спецификацией на компонент или в соответствии со стандартами: ГОСТ Р МЭК 61188-5-1-2012 IPC-7351, ТУ на компонент или Datasheet.

Контактные площадки микросхем с малым шагом выводов должны быть разделены маской. Сами переходные отверстия, расположенные в непосредственной близости от контактных площадок, желательно закрыть паяльной маской.



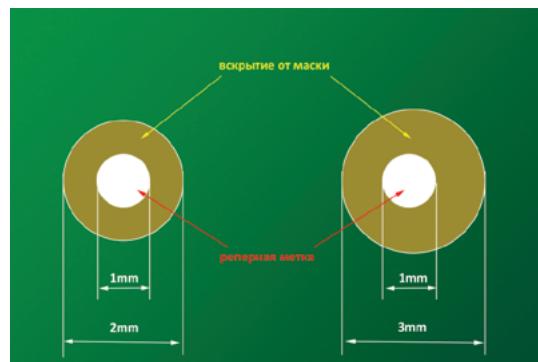
Контактные площадки компонентов должны быть отделены от полигонов термобарьерами. Так же желательно соединять контактные площадки и широкие проводники не напрямую, а узким проводником. Параметры этого соединительного проводника выбираются в зависимости от проходящего по нему тока. Это позволит избежать эффекта «холодной пайки».



РЕПЕРНЫЕ МЕТКИ

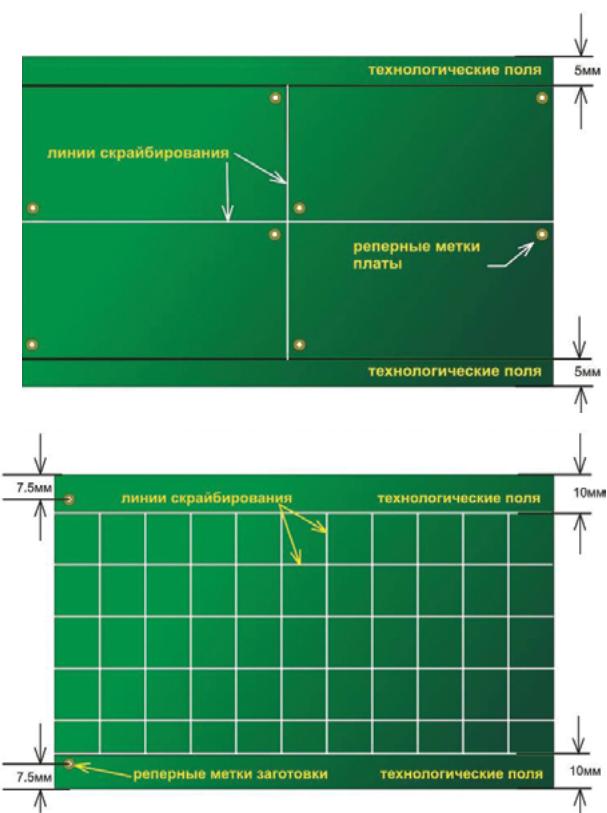
На каждой плате (панели) необходимо предусмотреть наличие как минимум трех реперных меток, необходимых для систем технического зрения автоматического оборудования.

Реперные метки должны представлять собой круглые площадки диаметром 1 мм, вскрытие от маски на диаметре 3-4 мм.



Они должны располагаться по углам платы (но несимметрично) и быть максимально удалены друг от друга. Желательно, чтобы проводники, контактные площадки, переходные, крепежные отверстия и другие элементы печатной платы располагались не ближе 5 мм от центра реперных меток.

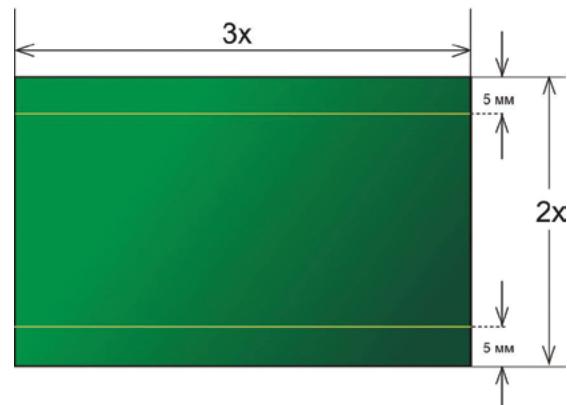
Если на плате недостаточно места для размещения реперных меток, они должны быть размещены на технологических полях, что повлечет за собой увеличение их площади.



При заказе контрактного производства (платы + монтаж) наши инженеры сделают оптимальную раскладку и добавят реперные знаки. При самостоятельном размещении – обратите внимание на рекомендации.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

Наше оборудование позволяет осуществлять монтаж отдельных плат или групповых заготовок, не имеющих специальных технологических отверстий и полей. Однако в этом случае по длинным сторонам платы компоненты должны быть расположены не ближе 5 мм от края. Если поверхностно-монтируемые элементы размещены с обеих сторон платы, это правило должно соблюдаться и для второй стороны. В противном случае по длинным сторонам платы или мультизаготовки необходимо разместить технологические поля шириной 5 мм.

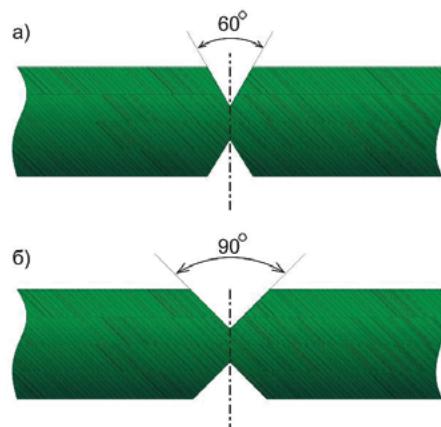


РАЗДЕЛЕНИЕ ЗАГОТОВОВОК НА ПЛАТЫ

Для разделения плат между собой и технологическими полями существует два метода: скрайбирование и фрезеровка по контуру платы.

Скрайбирование (V-Cut)

Тонкий надрез в виде канавки, коллинеарно с обоих сторон платы на 1/3 - 2/3 толщины платы, делается круглым лезвием с углом от 30 до 45 град



Если платы будут монтироваться на автоматических линиях, используют более толстые перемычки (а), для обеспечения более высокой жесткости заготовки в целом.

Для разделения плат в последующем используется специализированное оборудование, не создающее стрессовых нагрузок на печатную плату.

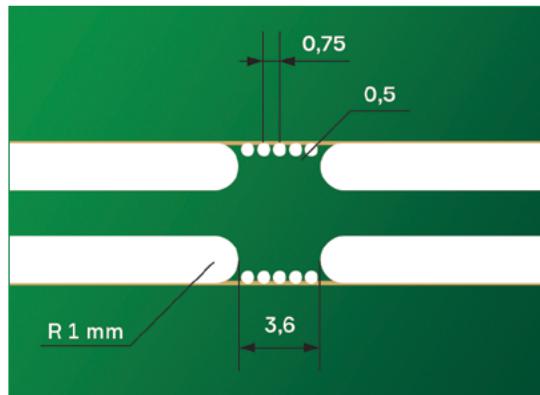
Для ручного монтажа и разделения эти перемычки делаются значительно тоньше (б), что обеспечивает легкое ручное разделение без последствий для печатной платы или спаянного изделия.

- Надрезы выполняются по прямой и через всю заготовку
- Снижается жесткость заготовки
- Минимальное расстояние для низкопрофильных компонентов от центра канавки – 1,25мм
- Высокие компоненты (радиальные конденсаторы) – до 6,5мм и более
- Керамические компоненты желательно располагать параллельно надрезу и с отступом 3мм от кромки платы
- Отступ элементов топологии – 0.4мм
- Не допускаются компоненты, выходящие за края платы

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Между платами остается интервал, по которому проходит фреза и остаются специальные мостики (табы), соединяющие платы и поля, перфорированные по кромке плат для удобства разделения.

Для фрезерования необходимо на контуре платы предусмотреть места для размещения минимум 3-х – 4-х таких перемычек. Технология подходит для объединения в панель плат сложной, неправильной формы.

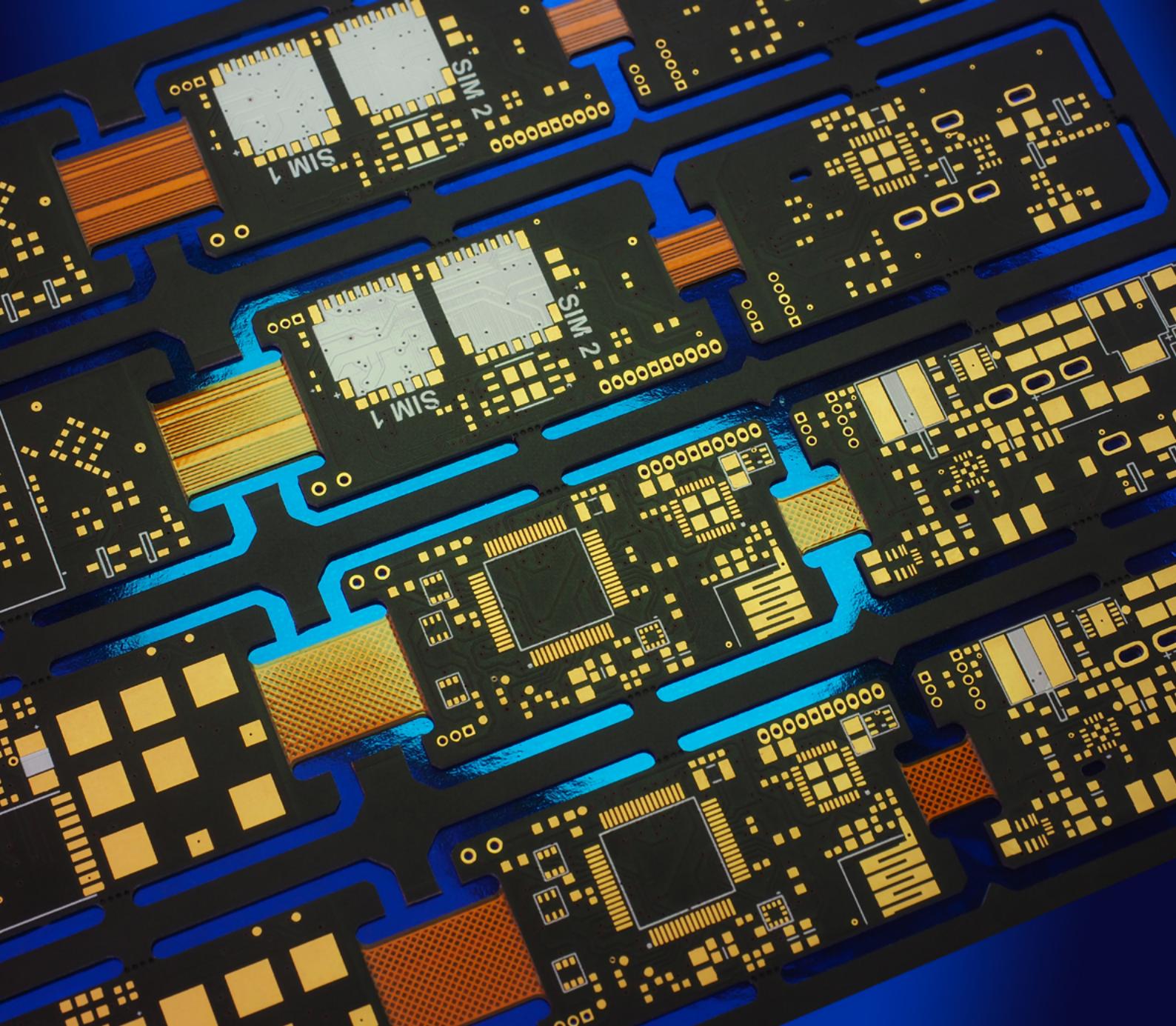


ВЫБОР ФИНИШНОГО ПОКРЫТИЯ

Все большее число современных компонентов требует для качественного монтажа идеально ровной поверхности контактных площадок, без наплывов и перепадов по высоте. Покрытие типа «горячее лужение» - HASL в этом случае неприемлемо, приводит к возникновению дефектов или невозможности монтажа ряда компонентов. Необходимая компланарность обеспечивается иммерсионными финишными покрытиями: золотом (ENIG), серебром (ImAg), оловом (ImSn).

Корпуса компонентов, для монтажа которых иммерсионное финишное покрытие обязательно:

- BTC – компоненты, или компоненты с выводами только снизу (BGA, LGA, QFN, DFN, CSP)
- Компоненты с шагом выводов 0,5мм и менее (QFP, TSOP, μ SOIC)
- Чип компоненты малых размеров (0402, 0201, 01005)



ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!



www.rezonit.ru

Бесплатные звонки по России:
8 800 777-81-18

Все материалы справочника носят рекомендательный характер.
Каждый проект уникален и требует индивидуального подхода.

По любым вопросам, которые могут у вас возникнуть,
обращайтесь за консультацией к нашим специалистам.

При использовании любых материалов справочника, включая
фотографии и тексты, активная ссылка на www.rezonit.ru
обязательна. © ООО Резонит