

*Зайцев А. Д.*

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*Работа выполнена под руководством д.т.н. Грошева В. Н.*

*ТГТУ, Кафедра «КРЭМС»*

### Материалы для печатных плат

Заготовки для жестких печатных плат представляют собой несколько спрессованных слоев стекловолкна (обычно 8 слоев), покрытых медной фольгой. Пространство между слоями заполнено наполнителем. Самый простой способ расположения стеклянных волокон - когда они перпендикулярны друг другу. При различной ориентации волокон в слоях прочностные характеристики материала становятся одинаковыми по всем направлениям. Толщина материала оценивается без учета медной фольги. Толщина фольги одинакова с обеих сторон.

Основа: бумага, стекловолкно, керамика, арамид.

Наполнитель: фенольная смола, эпоксидная смола, полиэстер, полиимидная смола, бисмалеинимид-триазин, эфир цианата, фторопласт.

Существует множество материалов для печатных плат. Они полностью роль диэлектрика и различаются своими электрическими, механическими и температурными особенностями. Наиболее важные характеристики, которые учитываются при выборе диэлектрика, являются диэлектрическая постоянная (особенно для высокоскоростных пп) и температура стеклования T<sub>g</sub>.

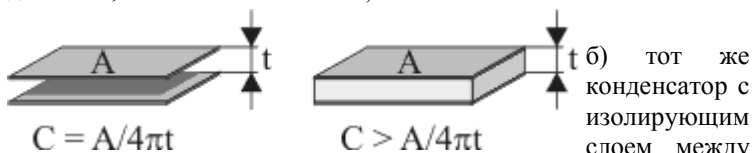
обозначение	состав	температура стеклования	диэлектрическая постоянная	относительная стоимость
FR2	бумага и фенольная смола	105	4,7	0,73
FR3	бумага и эпоксидная смола	110	4,9	0,85
FR4	фольгированный эпоксидный стеклотекстолит	135 - 170	4,7	1
FR5	то же с уменьшенным диаметром стекловолкна	160	4,6	1,4

BT	бисмалеинимид-триазиновая смола со стеклом	180-220	3,9-4,9	5,3
CE	цианат-эфир со стеклом	230	3,6	4,5
CE M1	бумага с эпоксидной смолой, на которую напрессованы листы стеклоткани	130	4,7	0,95
CE M3	стеклотекстолит, облицованный с двух сторон FR4	130	5,2	0,95
PD	полиимидная смола	260	4,2-4,6	6,5
PTFE E	фторопласт	240-280	2,2-10,2	32-78
CHn	смесь гидрокарбоната и керамики	300	4,5-9,8	90

### Диэлектрические свойства стеклотекстолита

При проектировании печатных плат необходимо учитывать диэлектрические свойства материала (диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь). От правильного выбора материала зависит исправная работа платы.

Диэлектрическая постоянная (проницаемость) - отношение емкости конденсатора, где в качестве диэлектрика используется испытываемый материал, к емкости такого же воздушного конденсатора. Она существенно зависит от типа вещества и от внешних условий (температуры, давления, влажности и частоты).

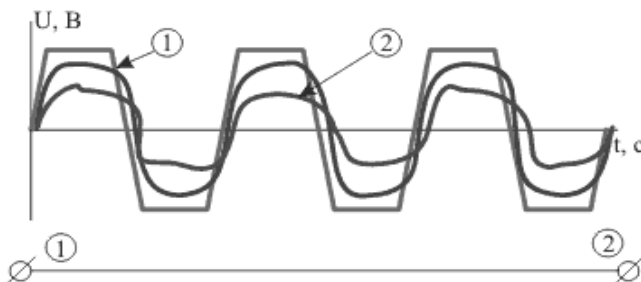


а) конденсатор, состоящий из параллельных проводящих пластин

Эту характеристику необходимо учитывать (особенно для высокочастотных ПП) по той причине, что высокое быстродействие современных ПП предъявляет особые требования к таким параметрам, как время задержки сигналов и емкость. Скорость передачи сигналов в проводниках зависит главным образом от диэлектрической проницаемости. Ее

значения для современных диэлектриков для печатных плат лежат в пределах 2,2 - 10,2. Задержка сигнала в линии может превышать 6 нс/м.

Так же задержка увеличивается с увеличением частоты подаваемого напряжения. Если на проводник подать идеальное, прямоугольное, напряжение (1) (см. рис.), то на выходе сигнал "размывается" (2), появляется сдвиг фаз. Чем больше частота и тангенс угла потерь, тем сильнее искажается сигнал.



Тангенс угла диэлектрических потерь в изоляционных материалах определяется отношением общих потерь мощности в материале к произведению напряжения и тока в конденсаторе, в котором исследуемый материал работает в качестве диэлектрика. Диэлектрические потери обусловлены нагревом диэлектрика. Их составляющими являются потери на электропроводность, поляризацию диэлектрика, резонансные потери (при частотах, совпадающих с собственными частотами колебаний электронов и ионов), потери, обусловленные неоднородностью (слоистостью, проводящими и газовыми включениями). Чем меньше тангенс угла потерь, тем выше качество радиоэлемента. Обычно через тангенс угла потерь характеризуют добротность конденсаторов.

Использование диэлектриков с улучшенными диэлектрическими параметрами дает незначительный выигрыш в задержке. Поэтому в общем случае задержка зависит от длины печатных проводников.

В высокочастотных печатных платах из-за разной длины проводников в конечные точки сигнал приходит в разное время и в разной фазе. Чтобы этого избежать, форму проводника корректируют таким образом, чтобы их длина была одинаковой.

Часто на печатной плате выполняются конденсаторы. Это накладывает ограничение на допустимые колебания диэлектрической постоянной, т.к. в партии конденсаторов их величина их емкостей должна колебаться в пределах заданной величины. Для FR4 на частоте 1 МГц значение диэлектрической проницаемости не должно превышать 5,4, а

типовое значение составляет 4,5. Тангенс угла диэлектрических потерь на этой частоте должен быть не более 0,035, а его типовое значение 0,017.

Так же при проектировании печатных плат мы вынуждены считаться с полным сопротивлением, возникающим между проводниками и "землей". Ниже приведены значения сопротивлений для двухсторонних печатных плат с разными значениями ширины проводника и толщины диэлектрика.

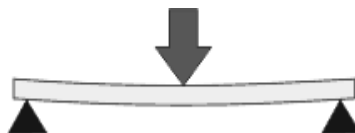
Полные сопротивления, Ом (толщина меди 35 мкм, диэлектрическая проницаемость 4,5)

	толщина стеклотекстолита, мкм		
ширина проводника, мкм	100	250	460
300	33,2	57,7	77,2
200	41,7	68,1	88,2
150	47,9	75,3	95,6
120	52,8	80,6	101,0

### Механические свойства стеклотекстолита

Подложка является основой для крепления элементов печатной платы, в свою очередь сама плата закрепляется в корпусе прибора. Поэтому материалы для ПП должны обладать определенной низкой способностью и прочностью, а так же обеспечивать качественное крепление в корпус прибора.

Прочность на изгиб - это разрушающее усилие для бруска, закрепленного на концах и нагруженного в центре. Ниже приведены значения прочности на изгиб (кг/см<sup>2</sup>) для некоторых видов материалов.



	Материал		
	FR3	FR4	FR5
прочность вдоль волокон			
при толщине 1,5 мм	1400	3850	3850
при толщине 3 мм	1400	3500	3500

прочность поперек волокон			
при толщине 1,5 мм	1100	3150	3150
при толщине 3 мм	1100	2800	2800

Деформация под нагрузкой - процентное изменение толщины при воздействии нагрузки. Этот параметр определяет способность жесткого пластика в сборке с другими элементами, прикрепленными болтами, заклепками или другими крепежными приспособлениями, сохранять постоянной силу сжатия, не обнаруживая текучести или ослабления жесткости сборки.

	Материал		
	FR3	FR4	FR5
изменение толщины, %	1,50	0,25	0,1

Модуль эластичности при изгибе может быть определен для сжимающих, изгибающих и разрывающих нагрузок.

Модуль упругости - это отношение (в пределах упругости материала) действующего усилия к соответствующей величине деформации.

Предел упругости - самое большое растягивающее напряжение, которое выдерживает материал без остаточной деформации.

Напряжение - усилие на единицу площади первоначального поперечного сечения, которое выдерживает испытываемый образец в данный момент.

Растяжение - отношение удлинения к первоначальной длине, т.е. безразмерная величина, определяющая изменение длины на единицу первоначальной длины.

	Материал		
Модуль эластичности, кг/см <sup>2</sup>	FR3	FR4	FR5
вдоль волокон	91000	188000	196000
поперек волокон	70000	154000	161000

### Температура стеклования

Наиболее часто употребляемые материалы для печатных плат созданы на основе стекловолокна с полимерным наполнителем. Это обу-

словлено прежде всего размерной устойчивостью стеклянного волокна в широком диапазоне температур, а так же большой механической прочностью и нагревостойкостью. Область применения таких материалов ограничена температурой стеклования  $T_g$ .

При низких температурах движение молекул в полимерах происходит медленно или почти отсутствует, так что аморфный полимер хрупок и тверд, как стекло, жесткий и труднорастворимый. Нагревание ускоряет движение молекул, поэтому по мере повышения температуры материал из твердого и хрупкого превращается в достаточно мягкий и пластичный. Температура такого перехода называется температурой стеклования. Она тем выше, чем выше степень полимеризации полимера.

Температура стеклования для полимеров в силу неоднородности их состава не имеет какого-то конкретного значения. Обычно под температурой стеклования подразумевают интервал температур (например, 135 - 170 градусов для FR4). Температура стеклования - это не температура плавления, при которой материал переходит в жидкое состояние. Так как при достижении  $T_g$  полимер становится пластичным, то он уже не может обеспечить размерную точность печатной платы и ее элементов.

В производстве печатных плат широко используется стеклотекстолит (**ГОСТ 26246.5-89**). Это это упругий, износостойкий, высокоомный слоистый пластик на основе стеклоткани и полимерного связующего. Стеклоткань формируют из расплавленной стекломассы вытягиванием через фильтры (непрерывное волокно длиной более 20 км и диаметром 3 - 100 мкм) или разделением струи расплавленного стекла паром, воздухом и др. (штапельное волокно длиной 1 - 50 см и диаметром 0,1 - 20 мкм). Обладает высокой теплостойкостью, химической стойкостью, высокими диэлектрическими свойствами, механической прочностью, низкой теплопроводностью и малым коэффициентом термического расширения. Недостатки: хрупкость, низкая износостойкость, плохая адгезия.

#### Список литературы

1. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат. М.: Форум - Интра-М, 2005.
2. Цыгин Н. Конференция по печатным платам в С.-Петербурге // Электронные компоненты. 2001. №5.
3. Галецкий Ф. П. Характеристика современных технологий печатных плат // Технологическое оборудование и материалы. 2000.