



Влагозащитные полимерные покрытия: функции

**Владимир Уразаев,
к. т. н.**

urazaev@yandex.ru

Кто последний, тот и виноват

Иначе — кто не спрятался, тот и виноват. Оба варианта отражают сформировавшийся в среде специалистов стереотип: «влагозащита есть покрытие печатного узла лаком». Поэтому во всех бедах, если таковые случаются, винят того, кто стоит на финише длительного технологического процесса изготовления радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Конечно, не бывает дыма без огня. Доля истины в этом утверждении, видимо, все-таки есть, но не более того.

На рис. 1 изображен фрагмент печатной платы с лаковым покрытием.

Стеклотекстолит и лаковое (в общем случае полимерное) покрытие, образно говоря, обнимают проводники печатной платы. Токовые утечки между двумя разнопотенциальными проводниками 1 и 2 возможны:

- через покрытие;
- через стеклотекстолит;
- по границе раздела между ними.

Полимерное покрытие и стеклотекстолит вносят примерно одинаковый вклад в обеспечение изоляции между проводниками. Правда, если учитывать толщину проводников, у полимерного покрытия она чуть выше. (В многослойных печатных платах не все так однозначно.)

Такой вывод справедлив при условии, что в окружающей среде нет влаги. Увы, это условие выполняется лишь в вакууме (в космосе). Но в космос нужно еще долететь. В реальных условиях печатный узел «атакует» влага. Первым ее встречает влагозащитное полимерное покрытие. Полимерных по-

крытий, абсолютно непроницаемых для воды, не существует. Влагопроницаемость полимеров изменяется в довольно широком диапазоне. Коэффициент влагопроницаемости полимеров в зависимости от химической природы изменяется в диапазоне $(0,01-20) \times 10^{-10}$ г/см·ч·Па [1]. Поскольку не из всех полимеров можно сформировать влагозащитные покрытия, удовлетворяющие другим многочисленным требованиям, реально этот диапазон значительно уже.

Изоляционные характеристики полимерного покрытия во влажной среде ухудшаются. Скорость этого изменения определяется преимущественно влагопроницаемостью покрытия, а величина падения — в основном влагопоглощением материала этого покрытия. При непродолжительном пребывании печатного узла в атмосфере с повышенной влажностью практически всю тяжесть «атаки» принимает влагозащитное покрытие. И если «человек с пистолетом» недобросовестно отнесся к своей работе, действительно, скорее всего, он и будет виноват.

Увеличим продолжительность «атаки». В результате длительной осады диффузионный барьер полимерного покрытия рано или поздно будет пройден. Далее влага проникает уже в стеклотекстолит, ухудшая и его изоляционные характеристики. Стеклотекстолит — композиционный материал. Чаще всего это эпоксидная смола, армированная стеклотканью. Слои стеклоткани ориентированы вдоль поверхности листа. А диффузионная проницаемость композиционных материалов вдоль слоев наполнителя (по кратчайшему расстоянию между проводниками) на порядок больше, чем в поперечном направлении (2). У композиционных материалов значительно больше и величина водопоглощения. Следовательно, при прочих равных условиях, стеклотекстолит более чувствителен к влаге, чем монолитное полимерное покрытие.

Поэтому, чем больше влаги и чем больше время воздействия этой влаги на печатный узел, тем больше падение уровня сопротивления изоляции будет зависеть от качества стеклотекстолита и тем меньше — от качества полимерного покрытия. Ответственность за конечный результат будут нести еще и «бойцы невидимого фронта», в первую очередь разработчики и изготовители базовых материалов и печатных плат.

Разговор с главным технологом научно-исследовательского института, осуществляющего разработку

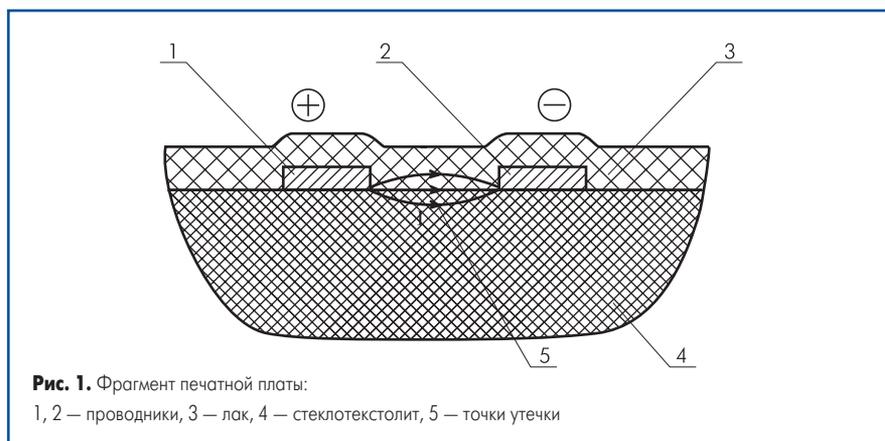


Рис. 1. Фрагмент печатной платы:

1, 2 — проводники, 3 — лак, 4 — стеклотекстолит, 5 — точки утечки

ку бортовой аппаратуры для летающих объектов. Жалобы на многочисленные рекламации по экспортным заказам. Причина рекламаций — отказы блоков управления работой двигателей МИ, МИГ и др. при эксплуатации в Индии. Последствия таких отказов самые печальные. В аппаратуре используются многослойные печатные платы с покрытием лаком УР-231. Интересен алгоритм отказов. Блоки нормально работают в течение 2–3 суток, затем происходит отказ. Работоспособность блоков восстанавливается после сушки. Следовательно, причина отказов связана с влагостойкостью. После 2–3 суток эксплуатации вновь происходит отказ. Далее события развиваются по аналогичному сценарию.

После моих длительных околонучных рассуждений (смотрите выше) главный технолог достал из папки копию статьи, опубликованной еще в шестидесятые годы XX века. В ней приводились результаты исследования диффузии паров воды сквозь полимерную пленку примерно той же толщины, что и влагозащитного покрытия. Эти результаты на удивление совпадали с результатами невольных «натурных испытаний» проводимых ныне во влажных субтропиках Индии. Влага проникала сквозь эту пленку через те же 2–3 суток!

На мой взгляд, кардинальным решением этой задачи было бы улучшение качества стеклотекстолита, который через 2–3 суток пребывания в атмосфере с влажностью, близкой к 100%, оказывается один на один с водой. Для этого можно, например, использовать полимеризационное наполнение, которое по целому ряду причин к тому же еще и максимально эффективно именно в многослойных печатных платах [3].

Институт же пошел другим путем. «До безобразия» была увеличена толщина диффузионного барьера (полимерного покрытия). Точнее, вместо покрытия стали использовать заливку печатных узлов эластичным компаундом. Масса этих узлов увеличилась в несколько раз. Не самое удачное решение для летающих объектов, где каждый грамм веса на учете, но... каждый волен сам принимать те или иные решения.

Итак, защитное полимерное покрытие выполняет функции изолятора и диффузионного барьера по отношению к влаге. В большинстве случаев с этой задачей оно успешно справляется. Свидетельство этого — многолетний успешный опыт использования такого способа защиты РЭА от внешних воздействий при эксплуатации в экстремальных условиях. Лишь в очень редких, запредельных случаях оно терпит фиаско. В этих случаях используются иные методы решения задач.

Когда бы не было меня

Влагозащитное покрытие выполняет не только свои прямые функции. В свое время были проведены сравнительные испытания на влагостойкость печатных плат с лаковым покрытием и без него [4]. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

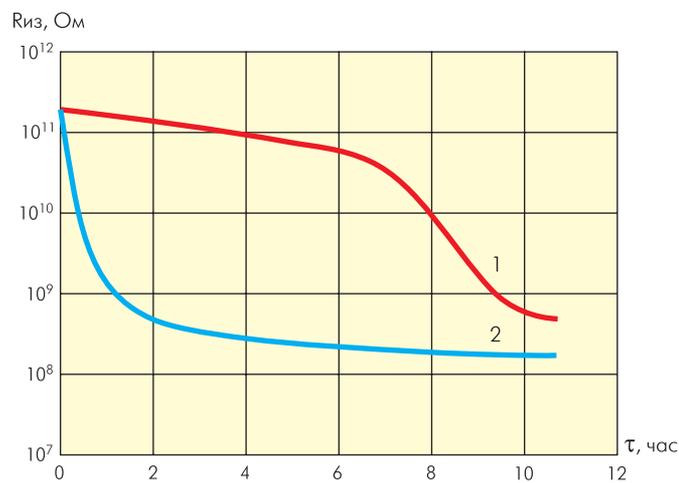


Рис. 2. Зависимость сопротивления изоляции печатных плат от времени выдержки в условиях относительной влажности воздуха 98% при температуре 40 °С:

- 1 — печатная плата покрыта двумя слоями лака УР-231
2 — нелакированная печатная плата

Результаты этих испытаний — еще одно подтверждение того, что влагозащитное покрытие является диффузионным барьером. В обеих печатных платах начальный уровень сопротивления изоляции имеет один порядок, но скорость его уменьшения в лакированной печатной плате гораздо меньше. Кривые 1 и 2 сближаются примерно через 10 часов испытаний, но все еще не совпадают. Скорее всего, с увеличением времени испытаний «встреча на Эльбе» все же произойдет.

Примерно такого хода развития событий и следовало ожидать. Гораздо интереснее другой факт, скрытый за пределами этого графика. Из разговора с автором выяснилось, что получение кривой 2 оказалось сложнейшей задачей. Нужно было реализовать сверхстерильные условия испытаний. И даже пролетающая муха, казалось, вносила погрешность в результаты измерений.

Следовательно, другая, не менее важная функция влагозащитного покрытия — защита поверхности печатной платы от загрязнений. Ионогенные загрязнения появляются, например, при прикосновении к печатной плате руками. Наблюдения показывают, что даже после многих лет работы с печатными платами не у всех вырабатывается условный рефлекс: печатные платы следует брать только за торцы. А ведь в «отпечатках пальцев» содержатся: натрий хлористый (3,8 г/л), мочевины (0,55 г/л), калий хлористый (0,3 г/л), уксусная кислота, глюкоза и т. д. [5]. При растворении в воде эта «гремучая смесь» образует электролит. Вода всегда имеется на поверхности печатной платы. Это мономолекулярный либо (при влажности воздуха выше 90%) полимолекулярный слой [4]. Причина этого кроется в гидрофильности поверхности стеклотекстолита и его капиллярной пористости.

Итак, электролит — налицо. Для получения электрохимической ячейки не хватает только разности потенциалов. Разность по-

тенциалов появляется при эксплуатации (при работе) печатных узлов. Под действием разности потенциалов один из проводников (анод) растворяется, переходя в положительно заряженные ионы. Эти ионы восстанавливаются до металла на другом проводнике (катоде). Вследствие этого процесса в изоляционном зазоре между проводниками могут образоваться токопроводящие перемычки. Результат — отказ или даже самовозгорание аппаратуры.

Статистические данные по отказам РЭА, связанным с низкой влагостойкостью, разнятся. При испытаниях доля отказов составляет 6–21%, при эксплуатации — 19–42% [6]. Скорее всего, отказы электрохимической природы и составляют львиную долю этих «ножниц».

Отказы электрохимической природы могут происходить и без участия грязных рук. Во-первых, даже сверхчистая вода частично диссоциирует на ионы. При нормальной температуре примерно 1 молекула из 5×10^9 молекул воды подвергается электролитической диссоциации по схеме:



Во-вторых, в промышленной атмосфере всегда присутствуют газы CO_2 , H_2S , NH_3 , SO_2 и другие, которые в растворенном состоянии образуют на поверхности печатной платы прекрасный электролит.

Под действием электролитов разрушение проводников может происходить и без участия электрического тока — обычная коррозия металлов. Развитию коррозионных процессов способствует еще и наличие на поверхности печатной платы металлов с различными окислительно-восстановительными потенциалами (медь, олово, свинец).

После того как защитные паяльные маски стали почти обязательным атрибутом печатных плат, производители вздохнули с облегчением. На большей части технологического процесса изготовления РЭА провод-



ники печатной платы укрылись от влияния «человеческого фактора». Хотя, если очень захотеть, отказы электрохимической природы можно реализовать и в печатных узлах с покрытием. Достаточно нарушить режимы отмывки печатных плат перед нанесением паяльной маски или лака. В этом случае одновременно с электрохимическим процессом может быть реализован еще один физический эффект — осмос.

Осмос (от греч. *osmós* — толчок, давление) — диффузия вещества (обычно растворителя) через полупроницаемую мембрану, разделяющую чистый растворитель и раствор или два раствора различной концентрации и проницаемую только для растворителя. Вследствие этого возникает осмотическое давление, достигающее нескольких десятков атмосфер [7].

В нашем случае полупроницаемая мембрана — защитная пленка полимерного покрытия, растворитель — вода (над пленкой), раствор — раствор загрязнений (под пленкой). Согласно законам физики, диффузия воды сквозь полимерную пленку должна проходить до тех пор, пока концентрация загрязнений под пленкой не сравняется с концентрацией загрязнений над нею. Поэтому, чем больше «грязи» под пленкой, тем больше воды проникает под нее. И зачастую гораздо раньше, чем эти концентрации сравняются, осмотическое давление отрывает пленку от поверхности печатной платы. Образую-

щиеся пузыри, наполненные раствором электролита, создают зону проводимости со всеми вытекающими из этого последствиями.

И еще

Есть и другие преимущества, которые приобретают печатные платы в результате появления на их поверхности влагозащитного полимерного покрытия.

Влагозащитное покрытие защищает печатную плату не только от загрязнений, но и от случайного замыкания проводников посторонними металлическими (токопроводящими) предметами.

Обволакивая проводники и радиоэлементы, влагозащитное покрытие обеспечивает их фиксацию и поддержку. Как следствие, повышается надежность печатных узлов в условиях внешних механических воздействий, например вибрации, а также при термостратификации.

В работе [8] со ссылкой на зарубежные источники приведены некоторые количественные оценки преимуществ, которые несут влагозащитные покрытия. Из них следует, что такие покрытия позволяют примерно на 80%:

- уменьшить расстояние между проводниками;
- увеличить срок службы печатных узлов;
- уменьшить количество разрывов цепей.

К сожалению, в работе не дана привязка к конкретным объектам и конкретным усло-

виям испытаний. Но даже если такие результаты достигаются только в частных случаях, это нисколько не умаляет ни значимости, ни заслуг влагозащитных полимерных покрытий.

Литература

1. Химическая энциклопедия. В 6 т. Т. 1 / Редкол.: Кнунянц И. Л. и др. М.: Большая российская энциклопедия. 1988.
2. Наполнители для полимерных материалов: Справочное пособие. М.: Химия. 1981.
3. Уразаев В. Повышение влагостойкости многослойных печатных плат // Электронные компоненты. 2002. № 3.
4. Медведев А. М. Надежность и контроль качества печатного монтажа. М.: Радио и связь. 1986.
5. Медведев А. Монтажные флюсы. Смыть или не смывать? // Компоненты и технологии. 2001, № 4.
6. Писарев В., Критенко М., Постнов В. Система испытаний — основа обеспечения надежности РЭА // Электроника: НТБ. 2002. № 5.
7. Политехнический словарь / Редкол.: Ишлинский А. Ю. и др. М.: Советская энциклопедия. 1989.
8. Большаков А. Причины нанесения влагозащитных покрытий на печатные узлы // Производство электроники. Технологии, оборудование, материалы. 2005. № 1.