

# Правила расчета расстояний между проводниками на печатных платах

Мохамед ФАХИМУДДИН  
(Mohamed FANEEMUDDIN)

Перевод: Сергей ШИХОВ,  
sergey@acont.ru

**Разработчику высоковольтных печатных плат необходимо обладать знаниями о международных стандартах и правилах безопасности, которые гарантируют безопасность и функциональность конечных изделий. В статье [1] подробно рассматриваются факторы, определяющие расстояние между проводящими дорожками высоковольтных цепей для обеспечения безопасности, надежной эксплуатации электронных сборок, а также с целью оптимизации схем расположения компонентов.**

## Введение

Расстояние между проводящими дорожками — важнейший фактор, влияющий на безопасность и надежность печатной платы, особенно если рабочее напряжение в электронных изделиях превышает 30 В переменного тока и 60 В постоянного тока или больше в случае устройств с повышенным напряжением.

В печатных платах различают два вида расстояний между проводящими дорожками: измеряемый по воздуху зазор (clearance) между проводниками и путь утечки (creepage), который представляет собой промежуток между проводниками, измеряемый по поверхности платы. В печатных платах с высокой плотностью межсоединений обеспечение минимального расстояния между дорожками является сложной и крайне важной задачей, особенно в сборках плат с высоким напряжением.

При проектировании высоковольтных печатных плат разработчику необходимо обладать знаниями о международных стандартах и правилах безопасности, например IPC 2221A и UL 60950-1, в которых описаны требования по безопасности людей и оборудования, находящихся вблизи электронного устройства. Соблюдение этих стандартов гарантирует безопасность и функциональность конечного изделия.

Кроме того, проектировщику печатных плат следует учитывать множество других параметров:

- сопротивление изоляции;
- напряжение пробоя диэлектрика;
- параметры материала платы;
- ток утечки;
- расстояния между дорожками, измеряемые разными способами;
- условия эксплуатации конечного изделия (влажность и высота над уровнем моря).

Чтобы убедиться в том, что плата разработана в соответствии со стандартами безопасности, необходимо протестировать ее в лабораторных условиях с использованием испытательного оборудования. Тестирование помогает обнаружить проблемы, которые возникают в процессе эксплуатации печатной платы под воздействием условий окружающей среды или высокого напряжения.

## Расстояния между проводящими линиями на печатной плате

Тенденция к миниатюризации электронных схем ставит перед разработчиками сложные задачи, особенно при использовании гибридных технологий, когда на одной плате размещаются аналоговые, цифровые, радиочастотные и высоковольтные цепи.

Соблюдение правильных расстояний между проводящими дорожками высоковольтных цепей обеспечивает безопасность и надежность электронной сборки, а также опти-

мизирует схему расположения компонентов, что, в свою очередь, позволяет уменьшить габариты изделия.

В табл. 1 приведены стандарты проектирования проводящих дорожек и расстояний между ними, основанные на весе меди.

### Минимально допустимое расстояние между линиями передач/дорожками на плате

Минимальным расстоянием между компонентами печатной платы и проводящими дорожками является расстояние, которое необходимо, чтобы электронная сборка могла выдержать заданное напряжение. Это расстояние определяется двумя способами: по воздуху (между наиболее выступающими точками) и по поверхности платы. Ключевую роль в определении требований к минимальному расстоянию между линиями играют такие факторы как значение напряжения, тип сборки и дальнейшее применение платы. Вариативность этих параметров обуславливает необходимость в индивидуальном под-

**Таблица 1.** Ширина и расстояние между проводящими медными дорожками на основе толщины меди для внутренних и внешних слоев печатной платы

Толщина медной фольги	Минимальное значение (внешние слои), мил		Минимальное значение (внутренние слои), мил	
	Ширина проводящей дорожки	Расстояние между проводниками	Ширина проводящей дорожки	Расстояние между проводниками
5 мкм	50	75	50	50
9 мкм	75	75	65	65
18 мкм	100	100	75	55
35 мкм	150	150	100	110
70 мкм	200	200	150	160
105 мкм	305	305	180	200
140 мкм	350	350	200	250

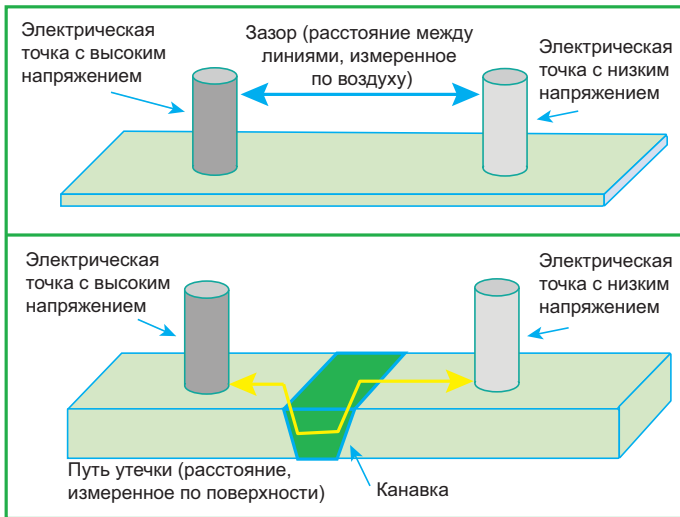


Рис. 1. Путь утечки и зазор между двумя проводниками

ходе при расчете минимального расстояния для каждого проекта. Единого решения не существует.

**Способы измерения расстояния между дорожками**

Путь утечки — это кратчайшее расстояние между дорожками проводника на плате, которое измеряется по поверхности изоляционного материала. Зазор определяется как минимальное расстояние по воздуху (прямая видимость) между двумя дорожками проводника (рис. 1).

В отличие от зазора, который измеряется по воздуху, путь утечки измеряется по поверхности изоляционного материала. При работе с высоковольтными конструкциями необходимо знать разницу между этими способами измерения расстояния.

**Влияние загрязнений на поверхность печатной платы**

Частицы пыли и влаги, попавшие между дорожками, становятся причиной утечки тока, что может повлечь пробой по поверхности изоляционного материала между проводниками. Кроме того, пробой по поверхности возникает вследствие скачка напряжения.

Постоянное высокое напряжение может привести к разрушению поверхности, если у нее слишком низкий сравнительный показатель пробоя (СТП).

**Сравнительный показатель пробоя**

Показатель СТП определяет напряжение электрического пробоя, вызванного условиями окружающей среды, для изоляционного материала печатной платы. СТП указывает на способность подложки выдерживать пробой между двумя дорожками на поверхности печатной платы и используется для оценки сопротивления основного материала платы, помогая рассчитать величину сопротивления изоляции между дорожками.

Показатель СТП показывает, насколько материал печатной платы подвержен воздействию окружающей среды, например, грязи и влаги. Чем больше значение СТП, тем выше устойчивость материала к пробую. Так, СТП ламинатов FR4 составляет 175, а у специальных материалов достигает 600.

Значения СТП позволяют оценить общую устойчивость печатной платы к поверхностному разряду, а также вероятность возникновения утечки или короткого замыкания, что особенно важно для плат с высокой плотностью компонентов, где расстояние между дорожками минимально. Таким образом, СТП можно назвать критически важным показателем при выборе материала платы. Подложка с более высоким СТП обеспечивает лучшую устойчивость к электрическому пробую.

Таблица 2. Классификация базовых материалов плат по сравнительным показателям пробоя

Сравнительный показатель пробоя (СТП), В	Класс
$600 \leq \text{СТП}$	I
$400 \leq \text{СТП} < 600$	II
$175 \leq \text{СТП} < 400$	IIIА
$100 \leq \text{СТП} < 175$	IIIВ

Согласно решению Международной электротехнической комиссии, все базовые материалы плат делятся на несколько классов по величине выдерживаемого испытательного напряжения (табл. 2). Значения СТП помогают определить общую устойчивость платы к поверхностному разряду и оценить восприимчивость ее изоляционного материала к электрическому пробую. СТП указывает на напряжение, которое приводит к разрушению в результате пробоя после попадания на материал 50 капель 0,1 % раствора хлорида аммония.

**Путь утечки и значение СТП**

При проектировании платы величина пути утечки (расстояние между линиями передач на плате, измеренное по поверхности) должна быть согласована со значением СТП основного материала: чем выше показатель СТП, тем меньше расстояние между проводниками платы.

**Вычисление расстояний между проводниками**

При расчете величины зазора между проводниками следует учитывать те условия, в которых предстоит функционировать печатной плате:

- рабочее напряжение;
- степень загрязненности воздуха;
- колебания температуры;
- уровень влажности окружающей среды, который оказывает влияние на вероятность возникновения дуги и напряжения пробоя в воздухе (рис. 2);
- накопление между проводниками твердых частиц, которые задерживают влагу и загрязнения на поверхности платы, сокращая тем самым путь утечки.

Помимо упомянутых факторов при проектировании необходимо учитывать и те параметры, которые поддаются контролю на этом этапе, а именно схему размещения компонентов, способ последующей сборки платы и нанесение конформного покрытия.

При двустороннем монтаже SMD-компонентов на плату требуется сохранять корректные зазоры между ограничивающей поверхностью и точками соединения сквозных отверстий. В высоковольтных цепях с одинаковым потенциалом увеличение зазора между проводящими дорожками не требуется. Однако в смешанных схемах необходимо тщательно соблюдать величину зазоров между цепями низкого и высокого напряжений.



Рис. 2. Влажность приводит к пробую напряжения и искрению

Снизить риск возникновения проблем, связанных с некорректно выбранной величиной зазоров, можно при помощи защитного покрытия. Конформное покрытие наносится в соответствии с требованиями проекта.

Таким образом, существует множество критериев — как внешних (относящихся к условиям окружающей среды), так и внутренних (относящихся к самой плате), которые разработчик должен принимать во внимание при расчете расстояний между проводниками на стадии создания проекта платы. Рассмотрим подробнее некоторые из них.

### Рабочее напряжение печатной платы

Международные стандарты трактуют термин «рабочее напряжение» как максимальное напряжение, которому подвергается рассматриваемая часть прибора, когда тот функционирует при номинальном напряжении и в условиях нормальной работы.

Чтобы определить рабочее напряжение печатной платы при заданном рабочем напряжении сети, следует оценить как пиковое, так и среднеквадратичное значение (СКЗ) напряжения. Это необходимо для расчета расстояний между проводниками. Пиковое значение напряжения постоянного тока определяет величину зазора, а СКЗ напряжения переменного тока — величину пути утечки. Ниже приведен пример расчета минимального расстояния между линиями печатной платы, исходя из рабочего напряжения.

Вторичная цепь с рабочим напряжением 609 В должна выдерживать пиковое напряжение 2700 В согласно стандарту IEC-60950-1. Таким образом, СКЗ напряжения составит  $2700 \text{ В} \cdot \sqrt{2} = 3818 \text{ В}$ . В соответствии со стандартом UL 796, для расчета требуемого минимального расстояния применяется критерий 1,6 кВ/мм. Таким образом, расстояние между двумя дорожками составит  $3,818/1,6 = 2,39 \text{ мм}$ .

В табл. 3 показано, как меняется размах напряжения в зависимости от рабочего напряжения согласно стандарту IEC-60950-1.

### Степень загрязнения

Этот параметр указывает на то, как загрязняющие вещества влияют на уровень безо-

пасности высоковольтных печатных плат. Классификация степеней загрязнения осуществляется в соответствии с количеством сухого загрязнения (пыли) и конденсата, которые присутствуют в окружающей среде. Чем выше эта степень, тем больше загрязнение пылью и конденсатом. В условиях сильной загрязненности для обеспечения безопасности электронной сборки необходимо тщательно следить за соблюдением соответствующих требований к значению зазоров между проводящими дорожками.

Степень загрязнения варьируется в зависимости от количества загрязняющих веществ и уровня влажности в атмосфере. В соответствии со стандартом IEC 60947-1, степень загрязнения можно разделить на следующие основные категории.

- Загрязнения 1-й степени:** нулевое загрязнение, или сухая окружающая среда. Допустимо присутствие непроводящих загрязнений, которые не вредны для работы электронных схем. Примеры: герметичные корпуса или изделия, залитые компаундом.
- Загрязнения 2-й степени:** в основном, это непроводящие загрязнения. Однако существует вероятность появления временного токопроводящего загрязнения, вызванного конденсатом. Пример: загрязнения в помещении лаборатории.
- Загрязнения 3-й степени:** проводящее загрязнение, возникающее из-за влажности или пыли в окружающей среде, например, в цехах тяжелых промышленных производств.
- Загрязнения 4-й степени:** имеется стойкая проводимость, вызванная избытком влажности и пылью. Как правило, речь идет о внешних условиях окружающей среды, к которым относятся дождь или снегопад.

Снизить влияние загрязнения на функционирование электронного устройства можно при помощи некоторых конструктивных особенностей:

- правильно рассчитанное расстояние между проводящими линиями платы помогает избежать утечек, обеспечивая надежность эксплуатации устройства в условиях загрязненности;
- воздействие загрязнения 1-й степени можно предотвратить путем герметизации изделия;
- загрязнение 2-й степени можно снизить с помощью вентиляции, которая исключит накопление влаги или частиц пыли;
- для уменьшения влияния загрязнений 3-й степени применяются корпуса, которые защищают электронное изделие от внешних факторов окружающей среды, например от влажности.
- уменьшить степень загрязнения помогают обогреватели, что особенно важно в случае бесперебойно работающих

устройств. Обогрев позволяет избежать охлаждения и, следовательно, образования конденсата.

### Изоляция

Изоляционный материал действует как физический барьер между высоковольтными узлами, герметизируя или закрывая открытые высоковольтные линии.

Обычно в случае недоступных электронных схем достаточен один уровень изоляции. Однако для защиты от опасного напряжения лучше использовать двухуровневую изоляцию. Для ее реализации требуется соблюдать определенные правила.

Изоляция также необходима для проводников цепей безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН). БСНН — электрические системы, в которых напряжение не может превысить сверхнизкое напряжение как при нормальных условиях, так и при условиях единичного повреждения, включая замыкания на землю в других цепях. Системы БСНН работают при низкой мощности и напряжении в диапазоне  $\pm 3,3 \dots \pm 24 \text{ В}$  постоянного тока. К ним относятся, например, разъемы ввода/вывода, кабели, подключенные к периферийным устройствам, например к принтерам и клавиатурам.

### Классификация типов изоляции

Различают пять типов изоляции: функциональная, основная, двойная, дополнительная и усиленная. Разработчикам и производителям необходимо знать и соблюдать требования к типу изоляции при проектировании и изготовлении печатных плат. Особое внимание следует уделять изоляции опасных напряжений от цепей БСНН.

В соответствии с международными стандартами, определены следующие типы изоляции.

- Функциональная изоляция:** обеспечивает надлежащую функциональность изделия, но не гарантирует безопасность.
- Базовая (основная) изоляция:** первый слой изоляции частей, находящихся под напряжением, который обеспечивает основную защиту.
- Дополнительная изоляция:** осуществляется путем добавления дополнительного слоя защиты (минимальной толщиной 0,4 мм) к основной изоляции.
- Двойная изоляция:** сочетает в себе функциональную, основную и дополнительную изоляцию.
- Усиленная изоляция:** дополнительная система изоляции, которая достаточно прочна, чтобы эффективно работать так, как если бы использовалась система двойной изоляции.

Эти стандарты безопасности помогают разработчикам защитить электронную схему от единичных отказов. Появления одиночных повреждений можно избежать при помощи двойной или усиленной изоляции, ко-

Таблица 3. Значения размаха напряжения, основанные на рабочих напряжениях

Рабочее напряжение платы, В	Напряжение (пик-пик), В	Напряжение, В СКЗ
500	1750	3257
526	2000	3566
551	2200	3803
575	2400	4034
609	2700	4369
620	2800	4478

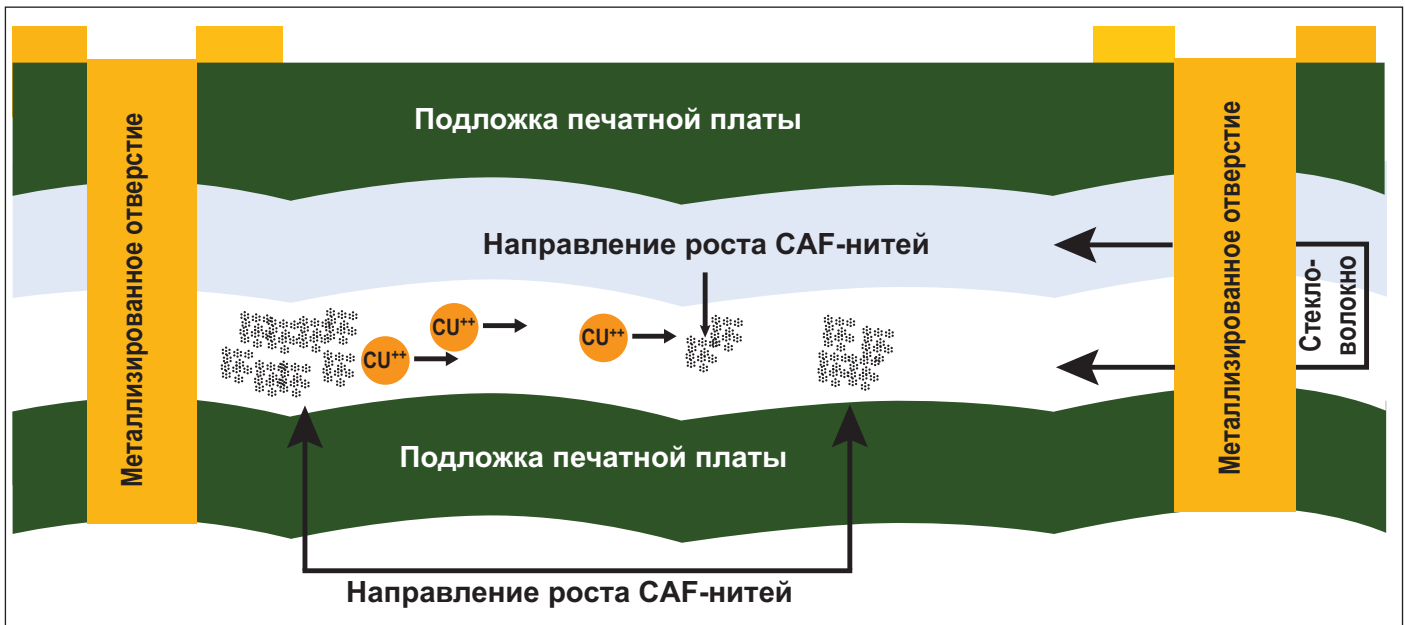


Рис. 3. Печатные платы высокой плотности могут выйти из строя из-за дефекта САФ

торая обеспечивает более надежную защиту благодаря наличию второго слоя.

**Образование проводящих анодных нитей (CAF)**

Проводящая анодная нить — дефект в виде металлической нити, возникающий в результате электромиграции меди в печатной плате и вызывающий ее отказ.

Проводящие анодные нити могут формироваться в условиях, когда между медными проводниками имеется разность потенциалов. САФ-нити образуются между сквозными отверстиями, линиями, сквозными отверстиями и линиями, а также между слоями. Чаще всего эти нити появляются при переходе от отверстия к отверстию, как на рис. 3.

Ключевыми факторами, провоцирующими возникновение нитей, являются напряженность электрического поля, повышение температуры или влажности, тип базового материала платы, нарушение технологических процессов при изготовлении платы. Этот дефект может быть вызван воздействием испытательного напряжения или напряжения смещения (напряжение, приложенное при тестировании устройства).

В наибольшей степени образованию проводящих анодных нитей подвержены платы с высокой плотностью размещения компонентов, поскольку из-за дефицита площади проводящие линии на таких платах расположены очень близко друг к другу.

Чаще всего металлические нити формируются между медным анодом и медным катодом, что, в конечном итоге, приводит к электрическому пробоем электронной схемы. Возникновение дефекта САФ происходит в два этапа:

- 1) деградация границы раздела смола–стекло<sup>1</sup>;
- 2) электрохимическая миграция меди, вызывающая рост самой нити.

При этом деградация границы раздела смола–стекло является обратимым процессом, так как сопротивление изоляции материала восстанавливается после отжига и сушки. Второй этап считается необратимым. Скорость образования САФ-нитей зависит от испытательного напряжения, относительной влажности, расстояния между проводящими линиями, характеристик базового материала подложки и температурного режима.

**Определение типа цепи печатной платы**

Чтобы определить тип цепи печатной платы, необходимо соотнести каждый блок цепи с классом напряжения: безопасное сверхнизкое напряжения (БСНН), сверхнизкое напряжения (СНН), среднее вторичное и первичное напряжения, высокое напряжение и т. д.

Электрические цепи на печатной плате классифицируются следующим образом.

1. **Класс 0:** отсутствует защитное заземление, имеется один уровень изоляции, рекомендуется эксплуатация в сухих помещениях; малейшая неисправность может привести к поражению электрическим током. Запрещен в большинстве стран ЕС.
2. **Класс 0I:** аналогичен классу 0, но имеет клемму заземления, которая, тем не менее, не востребована, поскольку используются двухпроводные кабели.

3. **Класс I:** поскольку в качестве одного уровня изоляции используется защитное заземление (например, заземленный металлический корпус), требуется только базовая изоляция между корпусом и любой частью опасного напряжения.
4. **Класс II:** используется двойная или усиленная изоляция, чтобы исключить необходимость в заземленном металлическом корпусе, а также в заземленной вилке питания.
5. **Класс III:** питается от источника БСНН и не создает опасное напряжение, поэтому требует только функциональной изоляции.

Для каждого класса следует использовать соответствующий тип изоляции.

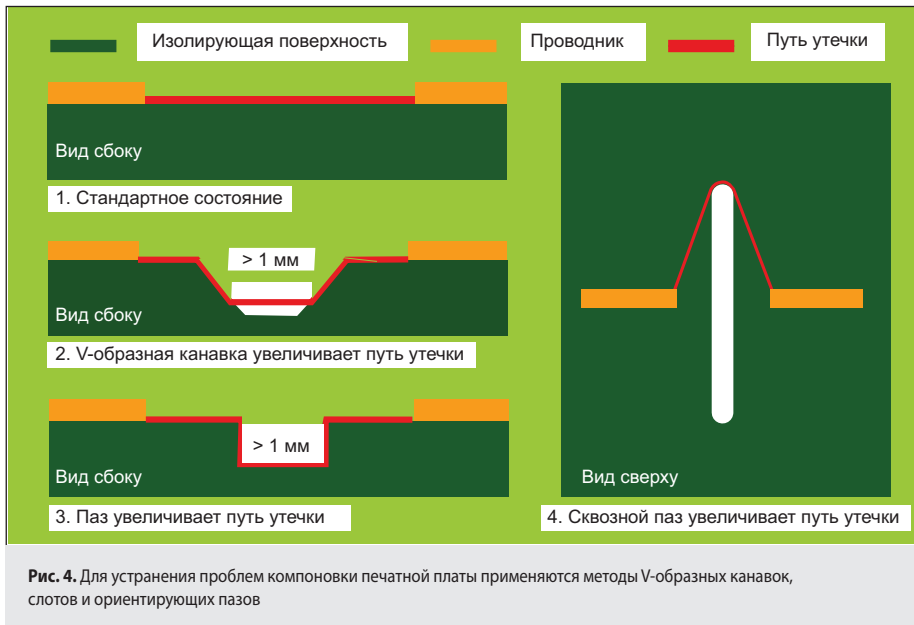
**Расстояние между компонентами печатной платы**

В ряде случаев электробезопасность печатной платы является фактором наивысшего приоритета. В такой ситуации ключевое значение приобретают пути утечки и зазоры. Следует помнить, что рекомендуемые величины расстояний между клеммами, разъемами и компонентами печатной платы четко определены в международных стандартах. Для лучшего понимания эти расстояния можно разделить на два вида расстояний между неизолированными:

- токоведущими частями и другими неизолированными металлическими частями (расстояние между клеммами и радиаторами, шасси, металлическими коробками, шкафами и т. д.);
- частями под напряжением противоположной полярности (клеммы, разъемы, оголенные провода, а также расстояния между соседними компонентами и т. д.).

<sup>1</sup> Деградация границы раздела смола–стекло происходит в результате следующей реакции на печатной плате:  
 • на аноде:  $Cu \rightarrow Cu(n+) + ne(-)$   
 $H_2O \rightarrow 1/2O_2 + 2H + 2e(+)$ ;  
 • на катоде:  $H_2O + e- \rightarrow 1/2H_2 + 2OH(+)$ .





Одним из способов, позволяющих повысить электробезопасность платы, является герметизация клемм с использованием высокотемпературного силикона. Эта мера позволяет увеличить путь утечки и снизить появление загрязнений, что, в свою очередь, минимизирует риски образования полостей и пустот в процессе осаждения и предотвращает возникновение проблем с изоляцией.

### Рекомендации по проектированию плат с учетом обеспечения надежности и электробезопасности

Зачастую слишком малый зазор становится причиной перенапряжения, что может вызвать замыкание между соседними проводящими дорожками. Чтобы предотвратить возникновение дефектов, связанных с зазорами и утечками, необходимо следовать следующим рекомендациям.

1. Значение расстояния между цепями высокого и низкого напряжения должно соответствовать требованиям стандартов.
2. Изгибы дорожек на печатной плате не должны образовывать острые углы. Закругляйте углы при проектировании дорожек.
3. Базовый материал для силовой печатной платы должен обладать высокой диэлектрической проницаемостью и высоким СТИ. Это позволяет минимизировать риски пробоя изоляции платы и повышает надежность электронной сборки, работающей в условиях высокого напряжения.
4. Нанесение конформного покрытия позволяет защитить плату от внешнего загрязнения. Кроме того, состав конформного покрытия представляет собой диэлектрик, который обеспечивает изоляцию поверхности печатной платы.
5. Для повышения надежности силовой платы можно сделать несквозной паз между

дорожками или вертикальные изоляционные барьеры. Использование V-образной канавки, паза с параллельными сторонами или прорези в конструкции печатной платы поможет эффективно решить проблемы утечки тока.

### Повышение плотности компоновки при сохранении заданного пути утечки

Нередко встречаются ситуации, когда необходимо соблюсти и минимальную допустимую длину пути утечки, и высокую плотность компоновки. В таких случаях применяются описанные ниже методы (рис. 4).

- **Исходная конструкция с плоской изолирующей поверхностью:** в этом случае путь утечки измеряется вдоль поверхности платы между двумя проводниками. Соответственно, его можно увеличить за счет большего расстояния между дорожками.
- **Метод V-образной канавки:** такая канавка увеличивает поверхностное расстояние между проводниками. Увеличение длины определяется глубиной канавки (глубина должна превышать 1 мм).
- **Канавка с параллельными стенками:** такой метод позволяет в еще большей мере увеличить расстояние между поверхностями, но следует учитывать, что ширина канавки должна быть не менее 1 мм.
- **Сквозной паз:** путь утечки можно увеличить с помощью паза шириной более 1 мм. Это один из самых простых и экономически эффективных методов. Единственным ограничением для применения этого метода является отсутствие достаточного свободного места на поверхности платы.

### Базовые материалы для высоковольтных печатных плат

При проектировании высоковольтных плат следует очень внимательно относиться к выбору базового материала и компонентов, которые обеспечивают требуемый уровень надежности и электробезопасности в течение всего срока службы электронной сборки в условиях воздействия окружающей среды и перенапряжения.

В процессе разработки платы рекомендуется учитывать следующие факторы.

- **Компоненты:** выбирайте компоненты, которые устойчивы к воздействию высокого напряжения и соответствуют требованиям стандартов. Убедитесь, что между контактами сохраняется достаточное расстояние. Следуйте рекомендациям по компоновке, указанным в техническом описании компонента.
- **Материал платы:** выберите подложку платы с очень высоким сопротивлением к диэлектрическому пробою. Такие подложки обладают хорошими эксплуатационными характеристиками.
- **Медь:** используемая для создания дорожек и переходов на печатной плате медь должна иметь такую толщину, которая позволит выдерживать высокие токи и механические нагрузки.
- **Смолы и стекловолокно:** их качество оказывает влияние на срок службы платы в условиях высокого напряжения. Плата с высоким содержанием смолы и небольшим содержанием стекловолокна обладает наилучшими диэлектрическими свойствами.

### Стандарты безопасности для определения путей утечки и расчета зазоров

Проектировщик высоковольтных плат в обязательном порядке должен хорошо знать стандарты безопасности при работе с силовыми полупроводниками и платами с рабочим напряжением выше 30 В (СКЗ)/60 В постоянного тока. Правильное определение параметров зазоров и путей утечки крайне необходимо для предотвращения пробоя и защиты от высокого напряжения как самого устройства, так и его пользователя.

Стандарты безопасности определяют необходимые значения расстояний между проводниками с учетом всех факторов, к которым относятся требования к конечному изделию, условия эксплуатации электронной сборки, тип напряжения, степень загрязнения, вид покрытия платы, класс изоляции и т. д.

Несоблюдение указанных в стандартах рекомендаций может привести к серьезным последствиям — разрушению важного оборудования и травмам пользователей.

Таблица 4. Стандарты электробезопасности и изоляции в высоковольтных приложениях

	Организация				
	Международная	Европа	США	Канада	Германия
Применение	IEC	CENELEC (EN)	UL	CSA	DIN/VDE
Промышленность	204 604	50178	508	14-M91	160
ИТ-оборудование	950	60950	60950	950	60950
Медицинское оборудование	601	60601	2601-1	601	750
Домашнее хозяйство	65	60065	8730-1		860
Оборудование для измерения и контроля	1010-1	61010-1	1262	1010	0410 0410
Телекоммуникации	950	60950	1459	225	804

Существуют следующие стандарты.

- **Общий стандарт IPC-2221 на проектирование печатных плат**  
IPC-2221 — общий стандарт с рекомендациями по утечкам и зазорам печатных плат. В этом стандарте подробно описаны требования к материалам и прослеживаемости, а также рекомендации по компоновке. Следование набору правил IPC-2221A обеспечивает требуемую изоляцию. Для стандарта IPC 2221 также имеются калькуляторы для измерения путей утечки и зазоров.
- **МЭК-60950-1 (2-е издание)**  
МЭК-60950 — еще один важный стандарт с требованиями к расстояниям между линиями передач, значениям зазоров и путей утечки в электронных сборках, предназначенных для устройств, которые применяются в ИТ- и телекоммуникационной сферах с питанием от сети переменного тока или от аккумулятора. Стандарт устанавливает требования с учетом степени загрязнения, типов изоляции и допустимых зазоров. Соблюдение стандарта МЭК-60950 особенно необходимо в отношении продук-

ции, предназначенной для международного рынка.

В табл. 4 [2] перечислены стандарты электробезопасности и изоляции в высоковольтных приложениях.

### Выводы

Расчет, корректное измерение путей утечки и воздушных зазоров является важ-

ным этапом проектирования, так как напрямую влияет на надежность и безопасность печатной платы и конечного изделия в целом. Инженерам-конструкторам необходимо консультироваться со специалистами по промышленной безопасности во избежание сбоев электронных устройств в процессе производства и эксплуатации.

Причем, это актуально не только в отношении печатной платы, но и компонентов, которые на нее устанавливаются. Необходимо также отметить, что по мере увеличения рабочего напряжения, степени загрязнения, категории перенапряжения и высоты над уровнем моря минимальные допустимые величины пути утечки и зазоров также увеличиваются. ■

### Литература

- 1 Mohamed Faheemuddin. The Importance of PCB Line Spacing, Creeping and Clearance // <https://www.protoexpress.com/blog/importance-pcb-line-spacing-creepage-clearance/>.
- 2 Application Note. AN 2012-10 V1.0 October 2012. Published by Infineon Technologies.



### Комментарий Сергея ШИХОВА, директора по управлению проектами, «А-КОНТРАКТ»

Основное внимание разработчиков электроники в настоящее время занимают вопросы целостности сигналов, электромагнитной совместимости, рассеяния избыточного тепла. Но не следует забывать и о более «приземленных» вещах, к которым относятся электрические зазоры в устройствах, в целом, и печатных платах, в частности.

В результате завершения эпохи электронно-лучевых телевизоров и мониторов стало сложно найти в быту приборы, работающие с киловольтными напряжениями. Однако они все еще встречаются (например, ионизаторы воздуха). В промышленности же высокое напряжение используется достаточно широко, поэтому разработчики и производители электроники обязаны обладать глубокими знаниями в области обеспечения электробезопасности.

