

# **Методы повышения надежности электронных систем.**

*В. Лакиминарайянан  
(перевод Ю. Потапова)*

Достижение высокой надёжности электронных систем требует использования специальных компонентов и методов проектирования, соответствующих конечным условиям эксплуатации оборудования. Всестороннее обсуждение потенциальных проблем, возникающих в этом случае, и методов их решения поможет разработчику значительно снизить вероятность отказов.

## **Выбор конструктивного исполнения компонентов и создание топологии**

На работу электронной схемы влияют технология монтажа компонентов на плате, способ их размещения и соединения проводниками. Отдельные печатные платы, в свою очередь, соединяются с основной платой, через которую по кабелям осуществляется связь с другими системами.

Для снижения уровня шумов и помех рекомендуется группировать компоненты по уровню мощности и рабочим частотам. Печатные проводники должны быть прямыми и предельно короткими. В длинных проводниках начинают проявляться различные паразитные эффекты, и на высоких частотах может возникнуть резонанс. Не рекомендуется использовать изломы проводников под прямым или острым углом; лучше делать изгибы плавными и закруглёнными. Необходимо минимизировать присутствие на плате токовых петель, для чего рекомендуется использовать внутренние слои питания и заземления. Во избежание возникновения перекрёстных искажений необходимо тщательно контролировать ширину проводников и зазоры между ними. Рекомендуется также заранее оценить значения паразитных индуктивности и ёмкости, чтобы предсказать вероятность проявления связанных с ними физических эффектов на высоких частотах. Также необходимо учитывать диэлектрические свойства многослойного материала печатной платы.

Для предотвращения повреждений компонентов токами, возникающими в результате утечки статического электричества с рук монтажника, рекомендуется прокладывать проводники подальше от краёв платы. Следует также отметить, что все самые строгие меры по защите чувствительных к электростатическим разрядам компонентов могут оказаться бессмысленными, если персонал небрежно обращается с платами. Полезно рядом с сигнальными прокладывать защитные проводники, обеспечивающие утечку заряда на землю. Во входных цепях всех чувствительных элементов рекомендуется ставить защитные элементы, например, ограничительные диоды. Для снижения уровня помех и шумов необходимо обеспечить хорошее заземление с низким импедансом.

## **Экранировка всей системы**

Как и в случае с отдельными компонентами, экранировка системы в целом позволяет значительно снизить вредное воздействие внешних электромагнитных помех. Принцип работы экрана заключается в поглощении или отражении электромагнитных и электростатических полей. На низких частотах магнитное поле поглощается, на высоких — отражается. Отражение на высоких частотах объясняется несоответствием между низким импедансом металла и высоким импедансом фронта волны.

Для защиты от низкочастотных электрических полей рекомендуется использовать экраны из немагнитных материалов, например, алюминия или меди, так как они лучше отражают нежелательные поля. Материалы с высокой магнитной проницаемостью, такие как железо, железоникелевые сплавы, мю-металлы и пермаллой, используются для защиты от низкочастотных магнитных полей. Магнитная проницаемость этих материалов снижается с ростом частоты, поэтому экраны из них на высоких частотах не эффективны. Однако, в этом случае хорошо работают экраны из меди и алюминия, так как они отражают падающую волну из-за разницы импедансов среды и экрана. Материалы с высокой проводимостью, такие как медь или алюминий, являются полезными для экранировки от электрических полей, но для низкочастотных магнитных полей они неэффективны.

Важно обеспечить сплошной экран вокруг защищаемой системы. Для устранения утечек поля, все отверстия в экране должны иметь диаметр, не превышающий  $l/20$ , где  $l$  — минимальная длина волны сигналов. Другими словами, не должно быть отверстий, работающих как щелевые антенны. Неиспользуемые разъемы также могут работать как антенны, поэтому их необходимо закрывать поглощающим материалом. Все изолирующие элементы должны иметь достаточную электрическую прочность диэлектрика, чтобы избежать пробоя под воздействием высокого электрического поля. Установка соединителей внутри углублений помогает избежать случайного контакта с объектами, заряженными статическим электричеством. Все кабели, используемые для введения сигналов внутрь экранированного корпуса, должны быть экранированными, а их оплетка должна иметь качественный круговой контакт с корпусом, что позволит избежать появления антенных эффектов.

Для длительного хранения уже собранных плат рекомендуется использовать прозрачные пластиковые пакеты с металлизированным покрытием, имеющие высокую стойкость к воздействию температуры и влажности.

### **Предотвращение тепловых повреждений**

Высокая температура является одним из вредных факторов, воздействующих на все без исключения типы компонентов электронной схемы. Для предотвращения отказов компонентов из-за чрезмерного нагрева, тепловой анализ проекта должен быть выполнен так же тщательно, как и анализ электрических схем. Аналогично электрическим токам в цепях, в системе существуют тепловые потоки от переходов в окружающую среду (смотри врезку “Основные концепции теплового анализа”). Предельная температура перехода для полупроводниковых устройств общего назначения составляет

около 150°C. Чем ниже рабочая температура перехода, там выше надёжность устройства. Снизить температуру переходов во время функционирования аппаратуры можно посредством специальных теплоотводов, охлаждающих вентиляторов или просто отверстий в корпусе для естественной вентиляции воздуха. Такие же меры применяются для охлаждения и других элементов схем: конденсаторов, трансформаторов, катушек, резисторов, реле и др.

Дополнительными источниками тепла могут быть электрические перегрузки и ряд других факторов, например, процесс пайки или близость к нагревающимся элементам, поэтому разработчик должен полностью оценить тепловое поведение системы до начала производства.

На тепловую нагрузку электронных устройств большое влияние оказывает температура окружающей среды. Ситуация ухудшается в области высоких температур, а значит при моделировании необходимо оценивать весь диапазон температур в реальных условиях эксплуатации. Ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что повышенная температура резко увеличивает вероятность выхода из строя полупроводниковых приборов. Это объясняется тем, что все реакции имеют физико-химическую природу и при повышенных температурах протекают быстрее. Таким образом подавляющее большинство механизмов отказов является зависимым от температуры. Косвенными причинами тепловых повреждений являются электрические перегрузки и электростатические разряды, вызывающие перегорание или плавление проводников, а также карбонизация пластиковых инкапсулирующих материалов. Для предотвращения таких повреждений необходимо эксплуатировать устройство в пределах его рабочей температуры и соответствующим образом защищать от воздействия статического электричества, электромагнитных помех и тепловых перегрузок. Последние могут стать причиной термической усталости материалов, тепловых уходов параметров, появления точек перегрева и некоторых других форм тепловых повреждений, в конечном счёте приводящих к полному или частичному отказу оборудования.

Все типы компонентов выделяют и рассеивают тепло. Некоторые из них делают это более интенсивно, например, проволочные резисторы, мощные регуляторы напряжения, транзисторы и диоды. В число способов передачи тепла входят отвод тепла через материал и проводники печатной платы, конвекция окружающего воздуха и тепловое излучение компонентов. Перегрев компонентов и участков платы во время пайки может вызвать существенные их повреждения. В общем случае, тепловые перегрузки вызывают следующие повреждения печатных плат: перегорание проводников вследствие протекания большого тока, потеря адгезии и расслаивание, обесцвечивание, деформирование и, в чрезвычайных случаях, обугливание платы. Компоненты могут противостоять умеренному тепловому воздействию в процессе монтажа и сборки, например, при кратковременном нагревании во время пайки. Однако, тепловое воздействие сверх установленной нормы вызовет сбой в работе устройства или его полный отказ.

### **Литература:**

1. MIL-HDBK-202: Test Methods for Electronic and Electrical Component Parts.

