Как решить проблему ЭМП при проектировании межсоединений в медицинском оборудовании

Захари БЛАНДЕН
(Zachary BLANDEN)

Электромагнитные помехи (ЭМП) не только препятствуют нормальному функционированию изделия, но и, если речь идет о медицинском оборудовании, могут нести прямую угрозу для здоровья и даже жизни пациента. Правильные подходы к организации экранирования позволяют разработчикам медицинского оборудования решить эту непростую проблему.

Электромагнитные помехи (ЭМП), сопровождающие работу электронных устройств, в конечном итоге определяют электромагнитную совместимость (ЭМС). Под этим понятием подразумевается способность технических средств одновременно функционировать при требуемом уровне качества под воздействием на них непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых ЭМП другим техническим средствам.

При этом рассматриваются два варианта — результат воздействия на техническое средство наведенных помех (в этом случае устройство считается приемником ЭМП) и излучение ЭМП самим устройством, которое не должно превышать допустимый уровень (в таком случае устройство – источник ЭМП). Оба критерия в отношении электромагнитных помех задаются соответствующими стандартами, которые различны не только для типов оборудования, но и условий его эксплуатации. Для безопасной эксплуатации медицинского оборудования требуется создать достаточно действенные барьеры не только на пути приема, но и излучения ЭМП. При этом следует обеспечить оптимальную функциональность устройства и защиту пациентов.

Хорошим методом защиты от ЭМП считается токопроводящий экран, который полностью окружает защищаемое устройство, например кабель, и электрически соединяет его с шасси (рис. 1).

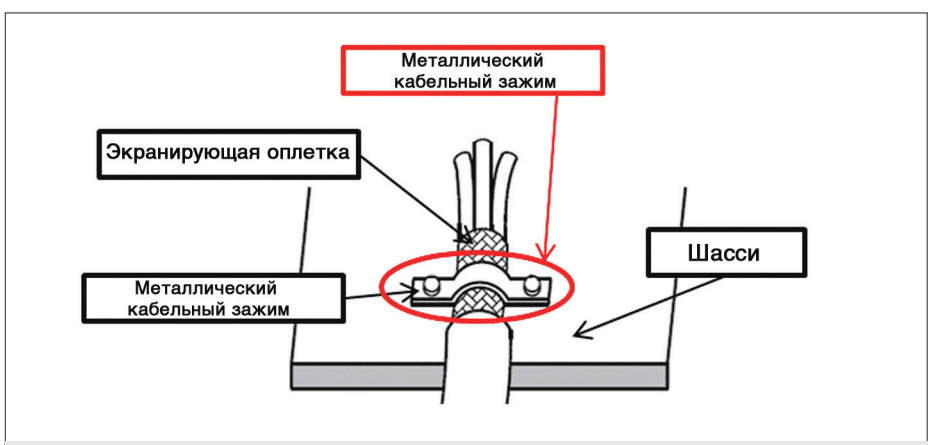

Рис. 1. Полное экранирование на примере кабеля

Однако в некоторых медицинских приложениях решение, показанное на рис. 1, зачастую бывает абсолютно недостижимым. Это обусловлено тем, что защищаемое устройство является преобразователем, который вместе с подключенным к нему датчиком преобразует некоторый физический параметр в соответствующие ему или его изменению электрические сигналы. Как известно, в медицине применяется множество разных датчиков – света, температуры, давления, расхода жидкости (скорости кровотока), тепла, акустические датчики и т. д. Поскольку они очень чувствительные, их требуется экранировать, но так, чтобы приложение не утратило свою функциональность. Например, как экранировать от внешних помех фототранзистор, который используется для измерения прозрачности ткани человека, избежав при этом разрушения схемы и не нарушив ее работоспособность? Если обернуть фототранзистор металлической фольгой, датчик не сможет реагировать на свет, проходящий через биологические ткани.

Поначалу эффективная защита таких приложений заключалась в окружении требуемой схемы проводящим, но не заземленным материалом. Такое решение, не относящееся к медицинским датчикам, называется незаземленным, или плавающим экраном.

В конечном счете, этот подход является достаточно сложным для решения вопросов экранирования ЭМП. Плавающие экраны добавляют металлизированные слои защитных материалов на поверхности, не обеспечивая надлежащий контакт с другими слоями. При этом защищаются цепи от наведенных ЭМП, и в то же время предотвращается излучение шума от защищаемых устройств. Однако дополнительные металлизированные слои или структуры без требуемого контакта между ними создают два независимых друг от друга металлических элемента, которыми как правило, являются экран и шасси. Таким образом, появляется дипольная антенна, которая преобразует электромагнитное поле в напряжение и ток. В результате возникают проблемы с ЭМС, т. к. значительно ухудшаются характеристики экранирования.

Во избежание использования плавающих экранов разработчики применяют специальные провода для заземления. Эти проводники соединяют отдельные металлические элементы (экран с шасси), устраняя проблему, которая связана с появлением дипольной антенны. Однако такие заземляющие проводники приводят к возникновению других проблем, связанных с подавлением электромагнитных помех.

Добавление заземляющего провода создает взаимную индуктивную петлю между внешним источником ЭМП и внутренними цепями устройства, что препятствует его экранированию. Кроме того, в местах заделки этого заземляющего провода возникает высокая

плотность тока в результате накопления электронов, что ведет к увеличению напряжения между экраном кабеля и подключаемым защитным корпусом (например, шасси). В свою очередь, этот ток может нарастать, генерируя помехи, либо воздействовать на внутреннюю схему, вызывая проблемы с ее помехоустойчивостью.

Одним из распространенных решений этой проблемы является использование отдельных специально выделенных кабельных проводников для создания заземляющего тракта внутри изделия путем подключения экрана к проводнику, но это решение чаще встречается в плоских ленточных кабелях, чем в круглых. Кроме того, это не решает проблему контура индуктивности. Однако заземляющий проводник по-прежнему востребован, если контакт экрана кабеля с экраном шасси обеспечен по всему контуру экрана (на 360°), поскольку необходимо минимизировать площадь петли, чтобы уменьшить индуктивность, которая возникает при использовании этого проводника. Если такой контакт не обеспечивается, электрические сигналы создают проблемы с излучением ЭМП и помехоустойчивостью.

Очевидно, что сплошная токопроводящая поверхность, замкнутая по периметру, является наиболее эффективным способом защиты устройств и кабелей. На рис. 2 иллюстрируется сценарий такого экранирования, которое создает идеальный барьер между внутренней схемой и внешними источниками ЭМП. Однако, как уже отмечалось, это оптимальное защитное решение в некоторых случаях невозможно реализовать из-за конструктивных ограничений и специфики медицинских приложений.

Итак, мы снова возвращаемся к вопросу – как обеспечить эффективную защиту устройства от внешних ЭМП, позволив устройствам преобразовывать, усиливать и передавать соответствующие электрические сигналы? Зависимость электромагнитных помех при использовании закрытых проводящих поверхностей от размера, количества сквозных отверстий и расстояния между ними описывается эмпирической формулой. Если размеры отверстий намного меньше длины волны, такой условно «прозрачный» барьер по-прежнему обеспечивает достаточно хорошую защиту от электромагнитных помех, не являясь при этом преградой для физических воздействий определенных типов. Кроме того, очень тонкие токопроводящие покрытия могут иногда быть достаточно прозрачными, чтобы пропускать определенные типы сигналов, например свет[1]. Необходимо полностью заземлить перфорированную проводящую поверхность по всему контуру.

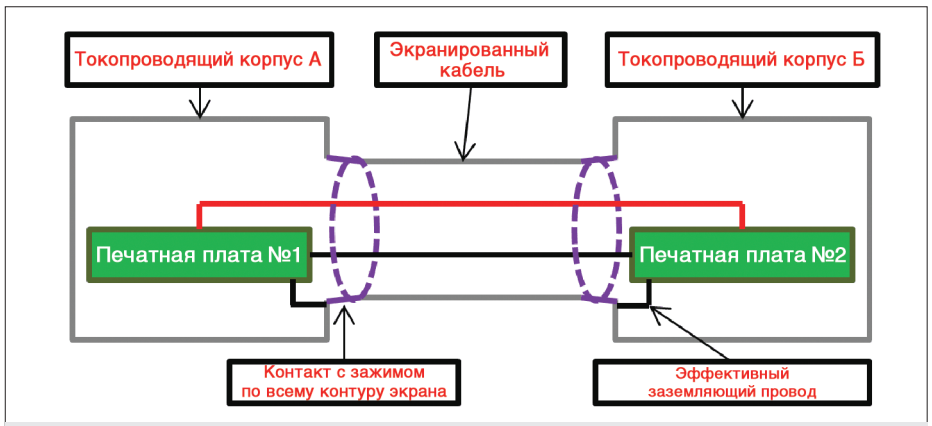

Рис. 2. Идеальный способ экранирования

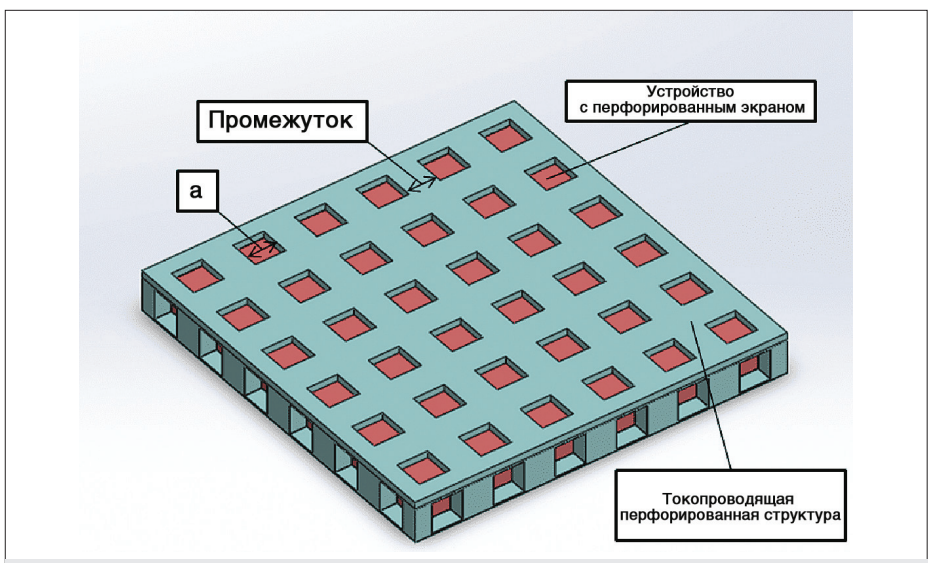

Рис. 3. Проводящая поверхность со сквозными отверстиями для защиты от электромагнитных помех

Если расстояние s между отверстиями размером a не превышает a/10, то справедлива эмпирическая взаимосвязь, используемая только для общей оценки:

$$\text{Уровень ЭМП} \sim Na^3,$$
$$\text{или ЭМП}_{\text{дБ}} \sim 20\lg(Na^3),$$

где N — количество круглых или квадратных сквозных отверстий; a — диаметр или размер грани сквозных отверстий [2] (рис. 3).

Выводы

Итак, в идеальном случае для экранирования схемы следовало бы полностью окружить ее бесшовным токопроводящим корпусом. Поскольку, однако, это невозможно, применяются самые разные способы защиты от помех. При этом типичные методологии заземления имеют несколько очевидных недостатков. Так, незаземленные плавающие экраны приводят к появлению паразитных дипольных антенн, а их заземление с помощью отдельных проводников создает индуктивные петли.

В результате проб и ошибок появились помехоподавляющие решения, в которых используются очень тонкие слои экранирующих токопроводящих материалов с малыми по отношению к длине волны отверстиями. Диаметр таких отверстий не должен превышать 1/20 длины волны λ, а лучше λ/50; при этом обеспечивается полностью экранированное соединение между кабелем и шасси. Такой тип экрана можно использовать в медицинском электронном оборудовании, работающем на относительно высоких частотах до 2,5 ГГц [1].

Литература

1. Hill Lee. Mechanical Design for EMC. Electromagnetic Compatibility Workshop. Westford Regency Inn. Westford. MA. May 15 and 17. Lecture.

[1] С этой целью может использоваться, например, оксид индия-олова (ITO) — материал для производства жидкокристаллических и сенсорных экранов, органических светодиодов и т.д., который обеспечивает эффективное экранирование электромагнитных помех.

Статья опубликована в журнале «Электронные компоненты» № 12'2018