

К. т. н. А. Н. ТЫНЫНКА

Украина, Одесский национальный политехнический университет

E-mail: polalek562@gmail.com

## УМЕНЬШЕНИЕ ШУМОВ И ПОМЕХ ПУТЕМ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ В КАНАЛАХ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ

*Рассмотрены методы и правила конструирования радиоэлектронных средств, обеспечивающие снижение шумов и помех при построении дискретно-аналоговых каналов преобразования информации в ближней зоне распространения электромагнитной энергии. Даны рекомендации по выбору компонентов, монтажу кабелей и соединителей, конструированию печатных узлов и фильтрации помех.*

*Ключевые слова:* дискретно-аналоговый канал, электронное конструирование, помехи, компоненты, печатные платы.

Интенсивность шумов и помех часто связана не только с принципиальной электрической схемой, но и с качеством конструкторских решений, принятых при построении систем передачи и обработки данных в ближней зоне распространения электромагнитной энергии, где размеры излучателя помехи намного меньше длины волны излучения. Неудачные решения повышают уровень ошибок при приеме и передаче сообщений (это, например, неподходящая конструкция и технология изготовления выбранных электронных компонентов; не лучшая распайка сигнальных и земляных проводников на контакты соединителей; неоптимальное число слоев печатной платы и их чередование).

Анализ литературы в статье [1], также посвященной конструкторским приемам уменьшения шумов и помех, показал, что имеющиеся работы не охватывают все аспекты выбора конструкций, электрорадиоэлементов и материалов, которые без излишних затрат обеспечивают минимальные шумы и помехи в дискретно-непрерывных каналах высокоскоростной обработки данных. В продолжение работы [1], где рассмотрены методы уменьшения шумов путем выбора рациональных электрорадиоэлементов, заземления и распределения питания, в настоящей статье показаны возможности защиты электрически коротких каналов обработки данных от излучаемых и кондуктивных помех, которые связаны с материалами и конструкциями печатных плат, особенностями применения фильтров и выбора соединителей в широком диапазоне от 10 кГц

до частот, для которых применима модель с сосредоточенными сопротивлением, индуктивностью и емкостью.

### Фильтры

#### EMI-фильтры

EMI-фильтры (EMI, electromagnetic interference) [2] используются для подавления электромагнитных помех во вторичных цепях постоянного тока электронной аппаратуры, на шинах тактового сигнала и шинах передачи сигналов.

LC-фильтры крайне полезны при фильтрации выходных напряжений стабилизаторов импульсных источников питания. Однако если стабилизатор с выпрямителем расположен на отдельной плате, может оказаться полезным размещение подобных фильтров и в точках ввода напряжения питания на печатных платах с другими каскадами. Больше того, локальные ВЧ-фильтры могут потребоваться даже на выводах питания каждой микросхемы. Важная задача при этом — добиться как можно меньшего индуктивного сопротивления земляного вывода фильтра электромагнитных помех в верхней части частотного спектра. Хорошим выбором в данном случае будут безвыводные керамические конденсаторы в силу низкой величины паразитной индуктивности. Важно также, чтобы соединение выводов питания с шиной земли было выполнено максимально короткими проводниками. Проходное отверстие на шину земли и будет таким кратчайшим соединением.

Еще одна рекомендация, касающаяся проектирования топологии печатной платы: полезно устанавливать ограничения не только на дли-

ну, но и на ширину, и даже на толщину печатных проводников. Эффективность любой схемы фильтра в большой степени зависит от компактности конструкции и использования шин земли большой площади.

### Использование технологии MLCC

Фильтры на базе технологии многослойных керамических конденсаторов (MLCC) удобны и эффективны для защиты от внешних помех и подавления собственных паразитных излучений [3]. Особенно популярны они в силовой электронике благодаря своим небольшим размерам и стоимости, низкому эквивалентному последовательному сопротивлению и высокой надежности. Ассортимент таких фильтров достаточно широк, это многослойные пассивные пространственные структуры, изготовленные по технологии X2Y; варисторные фильтры; конденсаторные и варисторные сборки; трехвыводные чипы;  $\pi$ -фильтры поверхностного монтажа; фильтры под пайку; фильтры с резьбой для установки на панель; фильтры индивидуальных конфигураций, выполняемые под заказ. Здесь, правда, нужно учитывать зависимость емкости от приложенного напряжения постоянного или медленно меняющегося тока. Это усложняет задачу точного выбора емкости конденсатора и правильного выбора типа многослойного конденсатора, поскольку самую сильную зависимость емкости от напряжения имеют конденсаторы из сегнето-керамического материала с наибольшей диэлектрической проницаемостью.

Конструкция фильтров на основе LC- или RC-цепей сравнительно сложна, а при монтаже они занимают много места. Меньшую площадь занимают фильтры на основе стандартных керамических конденсаторов, но для конструкторов более удобны миниатюрные проходные фильтры простой конструкции, состоящие из керамического конденсатора и ферритовой индуктивности. Они обладают большим сопротивлением изоляции, а малая собственная индуктивность сдвигает нежелательные резонансные явления далеко в высокочастотную область. Проходные керамические конденсаторы изготавливают из того же материала и по той же технологии, что и стандартные, но проходные имеют три полюса (четыре внешних вывода), их паразитная индуктивность в четыре раза меньше, чем стандартных, а значит меньше и индуктивное сопротивление  $\omega L$ .

На рис. 1 показаны электрические схемы однозвенных проходных фильтров нижних частот, а на рис. 2 — внешний вид миниатюрных фильтров. Наиболее экономична C-схема, она имеет самую низкую паразитную индуктив-

ность (рис. 1, а). Для цепей питания емкость фильтра выбирается тем большей, чем меньше сопротивление нагрузки. В электрических цепях при низком сопротивлении источника помехи и высоком сопротивлении нагрузки применяют L-C-схему, приведенную на рис. 1, б. В случае противоположного соотношения сопротивлений, а также когда они неизвестны или изменяются в процессе работы, выбирают L-C-схему на рис. 1, в. Применение  $\pi$ -фильтра предполагает низкое сопротивление источника и нагрузки (рис. 1, г). Появление второго конденсатора значительно уменьшает уровень помех на выходе. T-фильтр предназначен для цепей коммутации при высоком сопротивлении источника и нагрузки (рис. 1, д). Кроме однозвенных применяют сдвоенные  $\pi$ - и T-схемы. Вносимое фильтром затухание зависит от рабочей частоты и выбранной схемы. По увеличению эффективности по-

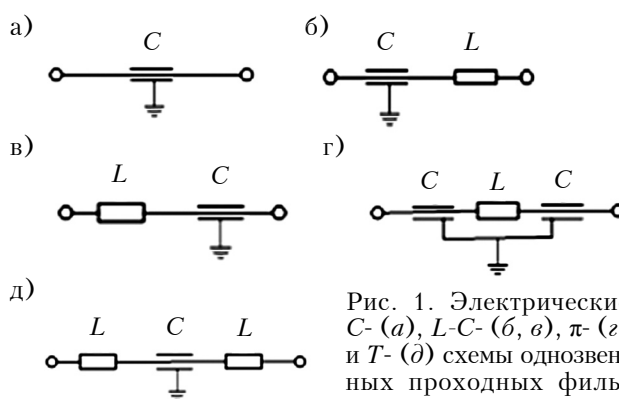


Рис. 1. Электрические C- (а), L-C- (б, в),  $\pi$ - (г) и T- (д) схемы однозвенных проходных фильтров нижних частот



Рис. 2. Основные типы конструктивного оформления миниатюрных фильтров [4]:

а — резьбовые, герметизированные компаундом; б — безрезьбовые, герметизированные металлокерамическим спаем; в — безрезьбовые, герметизированные компаундом; г — резьбовые без шестигранной головки; д — для прессовой посадки; е — для большого напряжения и тока; ж — глазковые

давления помех схемы располагаются в последовательности  $C \rightarrow L-C \rightarrow T \rightarrow \pi$ .

К основным параметрам фильтров, независимо от электрической схемы, относятся: электрическая емкость, уровень подавления помехи, вносимое затухание полезного сигнала, диапазон рабочих температур, сопротивление изоляции, рабочий ток, герметичность.

Конденсаторы для проходных фильтров нижних частот применяют трубчатые и многослойные дисковые [5]. Керамический материал влияет также на температурную стабильность и величину электрической емкости. В зарубежной продукции нашла применение керамика на основе титаната бария, и конденсаторы выпускаются трех групп: сверхстабильные (с диэлектриком NPO), чьи предельные изменения емкости не превышают  $30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  при колебаниях температуры от  $-55$  до  $+125^\circ\text{C}$ ; стабильные (с диэлектриком X7R), допускающие изменение емкости в пределах  $\pm 15\%$ ; конденсаторы общего применения, чья плавающая емкость может изменяться вплоть до  $90\%$ .

Индуктивные элементы фильтров изготавливают в виде колец или трубок из термостабильного феррита, надетых на сигнальный вывод фильтра.

Проходные конденсаторы фильтра должны монтироваться на входе и выходе для реализации как можно более короткого пути тока входной цепи по корпусу. При этом должен обеспечиваться надежный электрический контакт между корпусом и фланцем конденсатора по всему его периметру.

#### Использование технологии MLV

Фильтры другого вида — с многослойными варисторами, изготовленными по технологии MLV (multilayer varistor) [6], с ультранизкой эквивалентной индуктивностью — обеспечивают самую быструю среди всех варисторов защиту от электростатических разрядов и перенапряжения. Примером применения технологии MLV являются балансные фильтры — интегральные однокорпусные пассивные компоненты, содержащие три конденсатора с функцией варистора, включенные по балансному схеме (рис. 3).

В этом изделии вывод заземления имеет двухэлектродную, как бы расщепленную, конфигурацию, что обеспечивает взаимную компенсацию паразитных магнитных полей.

Внешний и внутренний виды фильтра и электрические соединения выводов изображены на рис. 4. Номиналы CV2 и CV3 одинаковы и вдвое превышают номинал CV1. Их напряжения пробоя также равны, но вдвое уступают напряжению пробоя CV1.

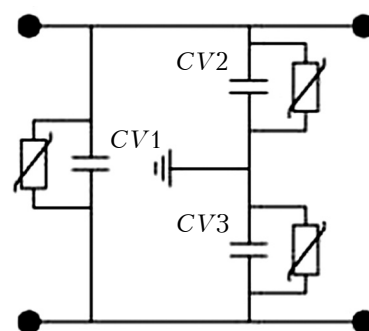


Рис. 3. Схема балансного фильтра, изготавливаемого по технологии MLV

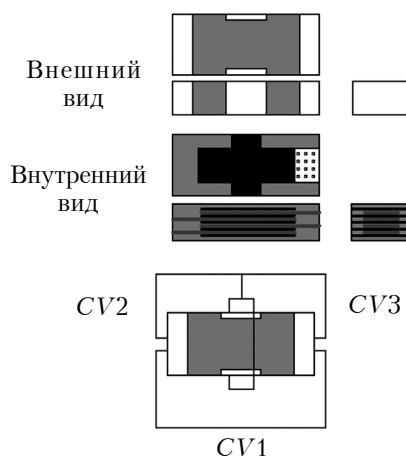


Рис. 4. Структура балансного фильтра [5]

Основные преимущества такого фильтра:

- экономия площади печатной платы;
- полная симметричность плеч в силу идентичности компонентов, изготавливаемых в одном технологическом процессе;
- постоянство характеристик фильтра при любых изменениях полезного сигнала, поскольку через фильтр протекают только токи помех из-за включения по схеме шунта.

По технологии MLV многослойные варисторы на основе оксида цинка выпускаются и отдельно от фильтров и тоже используются для защиты от электростатических разрядов чувствительных электронных цепей: интегральных микросхем, затворов МОП-транзисторов, низкочастотных аналоговых и цифровых цепей управления, цепей питания, высокоскоростных портов и линий передачи данных. Варисторы умещаются в сверхмалых корпусах.

#### Использование технологии LTCC

Судя по современным тенденциям, разработчикам аппаратуры следует настраивать себя на поиск компонентов, содержащих несколько схемных элементов в одном корпусе. Здесь ви-

дится перспективной технология многослойного низкотемпературного спекания (LTCC, low temperature co-fired ceramics) [7]: несколько слоев подложки после ряда планарных технологических операций собирают в пакет, ламинируют и подвергают спеканию при температуре около 900°C, после чего структура подложки становится компактной однородной. Технология LTCC также позволяет встраивать и сосредоточенные компоненты внутрь однородной структуры. Получающаяся трехмерная конструкция функционирует так, как если бы она состояла из одного слоя, но обладает лучшими параметрами.

Важнейшим преимуществом LTCC-технологии является возможность объемной интеграции в трехмерной среде, что облегчает совмещение в одном корпусе большого числа пассивных (активных и реактивных) компонентов, которые могут составить фильтр (рис. 5). Главные достоинства этой технологии и производимых по ней изделий:

- хорошо подходит (и удовлетворяет требованиям к надежности) и для серийного, и для массового производства при низкой стоимости изделий;
- обеспечивает высокую степень интеграции, что позволяет экономить площадь печатной платы;
- гарантирует высокую точность и повторяемость параметров компонентов, что приводит к хорошим характеристикам фильтров, особенно балансных;
- уменьшает линейные размеры конструкций и расширяет частотный диапазон создаваемых фильтров до 10 ГГц;
- относительно низкая температура спекания дает возможность применения высококачественных проводящих чернил, а также золота и серебра, материалов с высокой проводимостью, что помогает повысить помехоустойчивость ответственных мест конструкции.

Разработчику, однако, нужно иметь в виду необходимость подавления нескольких нежелательных резонансов, которые могут появиться вследствие паразитных реактивностей этой многослойной конструкции. Чтобы не допустить нежелательные резонансы, нужно на стадии проектирования пользоваться полной информацией производителя об эквивалентной схеме

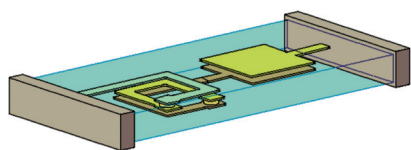


Рис. 5. Внутренний вид законченного LC-фильтра, выполненного по технологии LTCC [7]

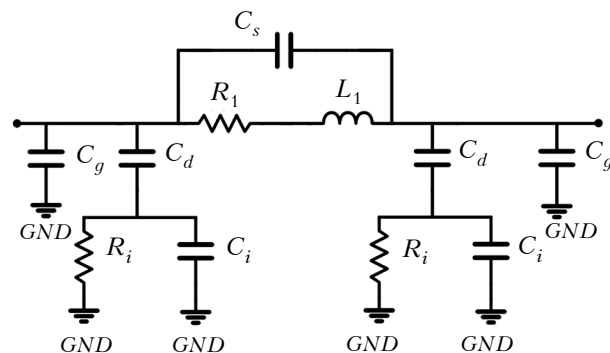


Рис. 6. Эквивалентная схема катушки индуктивности, встроенной в конструктивный модуль по технологии LTCC [8]

компонента. Рассмотрим для примера катушку индуктивности, интегрированную с другими LTCC-компонентами, схема которой представлена на рис. 6. Катушка рассматривается вместе с земляным слоем, который присутствует во всех модулях. В ее эквивалентной схеме кроме межвитковой емкости  $C_s$  появились дополнительные, по сравнению с одиночной катушкой индуктивности, емкости:  $C_g$  – между петлями катушки и земляной шиной;  $C_d$  – между петлями катушки и подложкой;  $C_i$  – емкость подложки, зашунтированная сопротивлением утечки  $R_i$ . Все эти емкости вместе с индуктивностью могут быть причиной появления резонанса той или иной добротности в какой-либо точке частотной оси.

#### Использование фильтров-бусин

На линии подключения источника питания иногда может быть полезным применение ферритовой бусины: она эффективно подавит высокочастотный шум питания, разделит линии аналогового и цифрового питания у интегральных микросхем, обрабатывающих смешанные сигналы, и не нарушит изоляцию между линиями.

Ферритовые фильтры-бусины представляют собой пассивные устройства, которые фильтруют шумы в широком диапазоне частот. Ферритовое кольцо увеличивает индуктивность проходящего через него участка провода в сотни (вплоть до тысячи) раз [9], что и обеспечивает подавление помех высокой частоты. Бусины включаются последовательно с линией питания и образуют с конденсаторами, заземляющими шумы, фильтры нижних частот, что дополнительно уменьшает шум импульсного источника питания.

При этом следует иметь в виду, что при применении бусин не исключены ошибки с негативными последствиями, например нежелательный резонанс из-за объединения бусины с развязывающим конденсатором для фильтрации нижних частот.

Схема замещения ферритовой бусины содержит резисторы, катушку индуктивности и конденсатор, т. е. импеданс бусин может носить индуктивный, резистивный и емкостный характер. Для уменьшения высокочастотного шума бусина должна работать в резистивной области — тогда компонент действует как резистор и рассеивает энергию шума в виде тепла.

Модель ферритовой бусины может использоваться при анализе схем фильтрации шумов, например, для определения резонансных частот при объединении с емкостями схемы. Если такую бусину использовать в верхнем (последовательном) плече делителя напряжения, в нижнее (параллельное) плечо которого включен резистор или конденсатор, то получим простейший фильтр для подавления радиочастотных шумов, причем крутизна амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра будет большей в случае емкостного нижнего плеча. Однако зачастую нижнее плечо в делителе вообще отсутствует — его роль играют паразитные элементы схемы (входная емкость микросхем, емкость дорожек платы и т. п.).

Для изготовления бусин, предназначенных для использования в качестве чип-фильтров, выбираются ферриты с большими потерями на перемагничивание (основное отличие чип-фильтров от чип-индуктивностей заключается в выборе материала). Чем чаще феррит перемагничивается (выше частота), тем больше на нем теряется энергии, выделяющейся в виде тепла. Все, что выделяет тепло, является активным сопротивлением, а не катушкой индуктивности.

Принято нормировать бусины по импедансу на частоте 100 МГц. Наиболее полную информацию для разработчика дает АЧХ, имеющаяся в документах производителя наряду с техническим описанием компонента, его параметрами, режимами эксплуатации, схемами включения и др. АЧХ показывает, в какой полосе активное сопротивление преобладает над реактивным и снижает добротность паразитных колебательных контуров.

Поскольку импеданс феррита зависит от ряда взаимосвязанных переменных, его трудно выразить аналитически, потому выбрать подходящий материал достаточно проблематично. Выбирая бусины под конкретную задачу, конструктору правильнее всего опираться на характеристики системы.

Самое типичное применение бусин — фильтр аналогового питания. Когда внутренние КМОП-каскады цифровых схем переключаются, они создают много шума, который распространяется по цепям питания. Верхние частоты спектра этого шума могут быть намного больше такто-

вой частоты цифровой части. Если рядом нужно разместить какие-то чувствительные аналоговые устройства, то бусины могут быть хорошим решением.

Кроме этого, бусины часто применяются для подавления паразитного излучения длинных кабелей. Для этой цели удобны бусины в виде полого цилиндра, кольца или тора. Большей индуктивностью из них обладает многовитковая тороидальная обмотка, но чаще всего выбирают бусины в форме полого цилиндра, в отверстие которого пропускается проводник или вывод радиокомпонента. Под монтаж на поверхность они выпускаются и в виде параллелепипеда по многослойной пленочной технологии [10]. Один виток обмотки формируется на двух слоях тонкой подложки. Сотни слоев при спекании соединяются и формируют объемную катушку повышенной индуктивности с ферритовым стержнем внутри. Низкочастотная конструкция предполагает размещение слоев в горизонтальной плоскости, а для СВЧ-диапазона (свыше 1 ГГц) применяется вертикальная структура, которая обеспечивает меньшую емкость между витками и выводными электродами. Вследствие этого расширяется рабочая полоса частот чип-фильтра. В этом случае размеры компонента меньше, а индуктивное сопротивление на высоких частотах больше за счет использования дополнительной структуры катушки вместо обычного сплошного ферритового стержня.

Фильтрующий эффект увеличивается при использовании шунтирующих конденсаторов, подключаемых к земле; этому же способствует низкое выходное сопротивление источника. Выбор номинала конденсатора зависит от спектра помех и частоты затухания.

Установка фильтров близко к источнику помех уменьшает эффективную длину проводящих антенн с высокочастотным шумом.

Выбор чип-фильтров производится по таким основным параметрам:

- рабочий диапазон частот; импеданс на тестовой частоте 100 МГц (1000 МГц для СВЧ-диапазона);

- сопротивление по постоянному току, которое зависит от длины чипа, числа слоев в феррите, толщины и конфигурации и может находиться в пределах от нескольких мОм до нескольких Ом в зависимости от типа;

- максимально допустимый ток;
- предельный рабочий ток, выше которого происходит насыщение ферритового материала (при насыщении импеданс снижается до 25%);

- номинальный ток, т. е. разрешенный постоянный ток через чип-фильтр (нагрев не превышает 20°С);

- допустимое отклонение импеданса от номинала;
- размеры корпуса;
- рабочий температурный диапазон;
- амплитудно-частотная характеристика.

Порядок выбора фильтра следующий. Определяется спектр помех, требуемый уровень их подавления и диапазон рабочих токов. На этом основании можно выбрать импеданс и допустимое сопротивление фильтра по постоянному току, чтобы не превысить расчетное падение напряжения. Значения тока и сопротивления особенно важны при установке чип-фильтров в цепях питания. Выбранный тип должен обеспечить работу фильтра без насыщения.

Чипы монтируются на плату пайкой при температуре 220–240°C с последующей ультразвуковой очисткой остатков флюса. Режим операции: частота колебаний — не более 28 кГц, время обработки — в пределах 5 мин.

#### Кабели и соединители

Задача борьбы с помехами в соединительных кабелях хорошо решается с помощью ферритовых чип-фильтров, размещаемых в точках присоединения кабелей [9].

В связи с трудностями выбора подходящих фильтров можно дать несколько рекомендаций по их использованию, уменьшающих риск ошибки:

- следует устанавливать последовательно на проводе не один, а минимум три фильтра, изготовленных из разных материалов, что позволит подавлять помехи в широком диапазоне частот и обеспечивать максимальные значения полных сопротивлений в области низких, средних и высоких частот;
- после монтажа проводить испытания фильтров, проверять эффективность подавления помех во всем интересующем диапазоне частот и токов.

Для того чтобы минимизировать перекрестные помехи внутри кабеля, сигналы, которые передаются по нему, должны быть приблизительно равны как по току, так и по напряжению (с разницей в пределах 10 дБ).

Рекомендуется возможно шире использовать фильтрующие соединители. Замена стандартных соединителей на соединители со встроенными фильтрующими элементами — экономически эффективное решение для обеспечения электромагнитной совместимости при создании надежных устройств с высокой плотностью компоновки. Оно дает возможность конкурировать с другими аналогами ЭМС-исполнения, при этом:

- уменьшаются затраты на элементную базу и компоненты;

- снижается масса аппаратуры;
- экономится системное пространство;
- уменьшается время разработки;
- облегчается и ускоряется модификация и модернизация;
- сводятся к минимуму изменения в технической документации.

На рис. 7 изображен многовыводной фильтрующий соединитель с гнездовыми контактами.

Фильтрующие соединители выпускаются в герметичном исполнении, а также для жестких условий эксплуатации.

В качестве соединителей для высокоскоростной передачи данных можно выбирать как цилиндрические конструкции, так и модульные серии разных производителей. Электрический соединитель — изделие электромеханическое, а значит, по своей природе он сочетает в себе ряд функций и качеств, влияющих на надежность работы: обеспечение физического контакта с малым импедансом в условиях механических воздействий, возможность многократных циклов сочленения-расчленения и прочее.

Для обеспечения оптимальных параметров разрабатываемой аппаратуры необходимо не только выбрать подходящий соединитель, но и обеспечить его правильную установку и соединение с элементами электрической схемы. Кроме того, современные технологии сборки электронных устройств накладывают дополнительные требования на технологичность. Так, например, в определенных задачах, когда плата собирается по технологии поверхностного монтажа, бывает важно в рамках того же сборочного процесса обеспечить и монтаж соединителей, поскольку иначе их монтаж в отверстия потребует дополнительных временных затрат и ручного труда.

Сигнальные соединители в современных устройствах должны в первую очередь обеспечивать высокий уровень целостности сигнала. Это значит, что среди основных предъявляемых к ним электрических требований — малое сопротивление контакта и малые перекрестные помехи, что часто достигается продуманным распределением сигнала по контактам и применением экранов в конструкции. Кроме того, сигнальные соединители малогабаритной техники должны



Рис. 7. Фильтрующий соединитель [4]

быть малых размеров, а это означает высокую плотность контактов и большую опасность перекрестных помех.

Остальные требования, такие как расчетное число сочленений, диэлектрическая прочность, допустимый ток, рабочее напряжение и др., для сигнальных соединителей не так важны. Но при этом следует учитывать, что иногда сигнальные контакты используются для низковольтного питания, причем в современных изделиях токовая нагрузка может быть значительной, поэтому величина допустимого тока, приходящегося на один контакт, в этом случае становится важным параметром.

Кроме этого, в условиях расширяющегося применения бессвинцовых припоев одним из важнейших параметров становится способность корпуса выдерживать повышенные температуры пайки.

### Печатные платы

С точки зрения борьбы с шумами на двусторонней печатной плате идеальным решением было бы выделение одной стороны платы полностью под шину земли. Практически это недостижимо из-за стремления к микроминиатюризации конструкции, но тем не менее, нужно стремиться к тому, чтобы под шину земли была отведена как можно большая поверхность платы: желательно, чтобы «землей» заполнялись все, даже самые незначительные, участки, оставшиеся после прокладки проводников межэлементной связи. Все островки шины земли должны быть электрически соединены между собой достаточно широкими перемычками, поскольку узкие могут существенно уменьшить эффективность использования шины. Очевидно, что в таком случае после автоматической трассировки следует обязательно проводить ручную доводку.

В отличие от двусторонней платы, при проектировании многослойной вполне реально выделить под «землю» один слой, и поэтому для достижения рассматриваемой цели многослойные платы более предпочтительны. Если отдельный слой выделить под питание и слои с шинами питания и земли разместить рядом, то получится дополнительная паразитная емкость, которая поможет развязке источника питания по высокой частоте. На внешних слоях тогда можно разместить трассы соединений компонентов поверхностного монтажа.

На печатной плате рекомендуется заземлять как минимум третью часть контактов соединителя, причем эти контакты следует чередовать с сигнальными.

Возможно, правильным приемом будет использование раздельных шин земли для аналого-

вых и цифровых цепей, причем эти шины лучше разнести друг от друга, чтобы минимизировать емкостную связь между ними. Если это реализовано, то АЦП, ЦАП и другие схемы со смешанными сигналами следует заземлять на аналоговую шину проводниками минимальной длины, чтобы исключить появление разности потенциалов между двумя земляными шинами, приводящей к негативным последствиям.

Выводы цифрового и аналогового питания также можно дополнительно изолировать друг от друга ферритовой бусиной [1, рис. 3].

Еще одна опасность, о которой следует помнить при разработке печатных плат, это интермодуляционные явления, возникающие при нелинейном преобразовании широкополосных сигналов или суммы нескольких частот. Результатом преобразования будут не только частотные искажения в пределах полосы частот входного сигнала, но и новые комбинационные частоты за пределами этой полосы, что нарушит требования к электромагнитной совместимости и ухудшит соотношение сигнал/шум канала обработки информации. Это явление получило название пассивной интермодуляции, поскольку генерирование нежелательных частот происходит вследствие нелинейности вольт-амперных характеристик пассивных элементов. Типичными источниками интермодуляционных явлений являются места соединений различных материалов. Поскольку соотношение составляющих композиционного материала влияет на уровень комбинационных частот, грамотный их выбор позволяет уменьшить пассивную интермодуляцию в проектируемых фильтрах, антеннах и других электрических цепях на печатных платах.

Следует также отметить, что важен выбор не только диэлектрика, но и материала проводника. Например, применение тонкопрофильной медной фольги вместо фольги со стандартным профилем позволит уменьшить уровень пассивной интермодуляции (до 15 дБ [11]). Это объясняется тем, что среднеквадратическое значение шероховатости ( $R_g$ ) тонкопрофильной фольги в 4 раза меньше. Кроме того, чем выше профиль шероховатости, тем больше уровень вносимых потерь. С этой точки зрения лучше использовать не электролитически осажденную, а катанную медную фольгу с гладкой поверхностью.

### Заключение

Для обеспечения широкого динамического диапазона в аналого-цифровых каналах высокоскоростной обработки данных разработчики вынуждены предпринимать меры по уменьшению шумов и помех, и здесь важен правильный выбор и корректное использование электронных

компонентів в цепях, прежде всего, питания и импульсных сигналов. Это важно, поскольку ошибочные конструкторские решения приводят к дополнительным помехам полезному сигналу. Соблюдение изложенных методов и правил позволяет без чрезмерных затрат свести к минимуму влияние электрических помех от работы проектируемой системы и электромагнитных наводок, экономит время на наладку проекта, обеспечивает создание в конечном итоге более надежных систем обработки данных.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Тыныныка А. Н. Конструкторские методы уменьшения шумов и помех в каналах с сосредоточенными параметрами при высокоскоростной обработке данных // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2019. — № 1–2. — С. 10–19. — <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2019.1-2.10>
2. EMI Filters and Filtered Interconnects: Каталог Spectrum Control Inc. — Москва: 2002.
3. Mark D. Waugh. Design solutions for DC bias in multilayer ceramic capacitors // Electronic Engineering Times Europe. — 2010. — P. 34–36.

4. Джурицкий К. Зарубежные миниатюрные фильтры низкой частоты. Ключ к информации о фильтрах // Компоненты и технологии. — 2009. — № 1. — С. 54–57.
5. Крюков М. Использование проходных керамических конденсаторов в фильтрах электромагнитной совместимости // Компоненты и технологии. — 2002. — № 8. — С. 48–50.
6. Varistor filters. Application Note, 2008.
7. Design and manufacture of microwave filters using the LTCC TECHNIQUE. Application Note, 2008.
8. Celic A. Modelling and simulation of RF multilayer inductors in LTCC technology // Telecommunication Forum TELFOR. — 2009. — Vol. 1. — P. 73–76.
9. Гуревич В. Ферритовые фильтры // Компоненты и технологии. — 2015. — № 10. — С. 16–18.
10. Самарин А. Многослойные ферритовые чип-фильтры компании Chilisin // Новости Электроники. — 2014. — № 5.
11. Белов Л., Кочемасов В., Строганова Е. Пассивная интермодуляция в СВЧ-цепях: механизмы появления, методы измерения и способы снижения // Электроника НТБ. — 2015. — № 3. — С. 80–91.

Дата поступления рукописи  
в редакцию 15.05 2019 г.

DOI: 10.15222/ТКЕА2019.3-4.10  
УДК 621.396:004.3

О. М. ТИНИНИКА

Україна, Одеський національний політехнічний університет

E-mail: polalek562@gmail.com

## ЗМЕНШЕННЯ ШУМІВ І ЗАВАД ШЛЯХОМ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ В КАНАЛАХ З ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНІЙ ОБРОБЦІ ДАНИХ

*При проектуванні більшості радіоелектронних систем основна увага приділяється розробці власне виробів, а питання задоволення вимоги захисту від завад зазвичай відходять на другий план, що й викликало необхідність в появі даної роботи. Статтю присвячено методам і правилам електронного конструювання радіоелектронних засобів, що забезпечують зниження шумів і перешкод. Надано практичні рекомендації щодо вибору компонентів, монтажу кабелів і з'єднувачів, конструювання друкованих вузлів і фільтрації завад. Актуальність цих завдань обумовлена декількома основними причинами, такими як підвищення швидкодії напівпровідникових приладів і електронних схем в цілому, зменшення амплітуд робочих сигналів цифрових пристроїв, зростання впливу міжз'єднань і компоновання вузлів на стійкість і швидкодію електронних пристроїв і систем, трудомісткість і великі матеріальні і часові витрати на пошук і усунення причин низької завадостійкості електронних пристроїв.*

*З ростом швидкодії і щільності компоновання елементів забезпечення завадостійкості електромагнітної взаємодії між різними пристроями і системами стає найважливішим завданням конструювання радіоелектронних систем в цілому. В процесі конструкторської реалізації будь-якої електронної схеми неминуче вносяться додаткові паразитні параметри резистивного, індуктивного і ємнісного характеру, які можуть в неприпустимих межах погіршити швидкодію і завадостійкість в реальній конструкції, навіть призвести до повної втрати працездатності. Особливо великий вплив конструкція і монтаж мають на роботу надшвидкісних (високочастотних) схем і пристроїв — в таких випадках система на швидкодія, завадостійкість та електромагнітна сумісність стають основними критеріями якості електронної конструкції.*

*Ключові слова: дискретно-аналоговий канал, електронне конструювання, завади, компоненти, друковані плати.*



## REDUCTION OF NOISE AND INTERFERENCE BY RATIONAL SELECTION OF ELECTRONIC COMPONENTS IN LUMPED PARAMETER CHANNELS AT HIGH SPEED DATA PROCESSING

*When designing most electronic systems, the main focus is on the development of the devices themselves, while the problem of meeting the requirements for the interference protection usually take second place, which calls for a need in this particular study.*

*The article is devoted to methods and rules for design of radio electronic devices, which reduce noise and interference. The author provides practical guidance in the issues of choosing components, installing cables and connectors, designing print nodes and interference filtering. The urgency of these tasks is caused by several principal reasons, i.e., the increase of the speed of semiconductor devices and electronic circuits in general, reducing the amplitudes of the working signals of digital devices, increasing effect of interconnects and cascade layouts on the stability and speed of electronic devices and systems, the complex, costly and time consuming process of finding and eliminating the causes of low noise immunity of electronic devices.*

*With the speed growth and the layout density of the elements, ensuring the noise immunity of the electromagnetic interaction between different devices and systems becomes the most important task of designing the radio electronic systems in general. When designing any electronic circuit, additional resistive, inductive and capacitive parasitic parameters are inevitably introduced. This can critically affect the performance of the real-life design by lowering its speed and noise immunity, even leading to complete failure. Design and installation have a particularly strong influence on the operation of high-speed (high-frequency) circuits and devices. In such cases, system speed, noise immunity and electromagnetic compatibility become the main criteria for the quality of electronic design.*

*Keywords: discrete-analogue channel, electronic design, interference, components, printed circuit boards.*

## REFERENCES

1. Tynynyka A. N. [Design methods for reducing noise and interference in channels with lumped parameters in high-speed data processing]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2019, no. 1–2, pp. 10–19. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2019.1-2.10> (Rus)
2. *EMI Filters and Filtered Interconnects*: Katalog Spectrum Control Inc. Moscow, 2002.
3. Mark D. Waugh. Design solutions for DC bias in multilayer ceramic capacitors. *Electronic Engineering Times Europe*, 2010, pp. 34–36.
4. Dzhurinskiy. [Foreign miniature low-pass filters. The key to information about the filters]. *Components & Technologies*, 2009, no. 1, pp. 54–57. (Rus)
5. Kryukov M. [Use of pass-through ceramic capacitors in electro-magnetic compatibility filters]. *Components & Technologies*, 2002, no. 8. pp. 48–50. (Rus)
6. *Visitor filters*. Application Note, 2008.
7. *Design and manufacture of microwave filters using the LTCC TECHNIQUE*. Application Note, 2008.
8. Celic A. Modelling and simulation of RF multilayer inductors in LTCC technology. *Telecommunication Forum TELFOR*, 2009, vol. 1, pp. 73–76.
9. Gurevich V. [Ferrite filters]. *Components & Technologies*, 2015, no. 10, pp. 16–18. (Rus)
10. Samarin A. [Multilayer ferrite chip filter by Chilisin]. *Novosti Elektroniki*, 2014, no. 5. (Rus)
11. Belov L., Kochemasov V., Stroganova E. [Passive intermodulation in microwave circuits: appearance mechanisms, measurements and reduction methods]. *Electronics: STB*, 2015, no. 3, pp. 80–91. (Rus)

**Описание статьи для цитирования:**

Тыныныка А. М. Уменьшение шумов и помех путем рационального выбора электронных компонентов в каналах с сосредоточенными параметрами при высокоскоростной обработке данных. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2019, № 3-4, с. 10–18. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2019.3-4.10>

**Cite the article as:**

Tynynyka A. N. Reduction of noise and interference by rational selection of electronic components in channels with lumped parameters at high speed data processing *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2019, no. 3-4, pp. 10-18. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2019.3-4.10>