Князев А. Д., Кечиев Л. Н., Петров Б. В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости

ББК 32.841 К 54 УДК 621.396.6.001.66:621.391.827

Рецензенты: канд. техн. наук А. П. Левин, канд. техн. наук Г. А. Орлов

Редакция литературы по информатике

Князев А. Д. и др.

К 54 Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости/А. Д. Князев, Л. Н: Кечиев, Б. В. Петров.— М.: Радио и связь, 1989.— 224 с. ил. ISBN 5-256-00361-5.

конструк
тивных параметров изделий: рассматриваются вопросы испытаний РЭА и ЭВА на ЭМС.

Мож
ет быть полезна преподавателям и студентам вузов соответствующих специальностей.

ISBN 5-256-00361-5 © Издательство «Радио и связь», 1989

Содержание книги Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости

Предисловие
Введение

Глава 1. Основные принципы обеспечения ЭМС РЭА и ЭВА
1.1. Существо проблемы обеспечения ЭМС
1.2. Основные понятия
1.3. Нормативно-техническая документация в области ЭМС
1.4. Конструкторско-технологические аспекты ЭМС при разработке РЭА и ЭВА

Глава 2. Конструкторские основы обеспечения ЭМС РЭА и ЭВА
2.1. Экранирование
2.1.1. Основные характеристики экранирования
2.1.2. Экранирование электромагнитного поля
2.1.3. Экранирование магнитного поля
2.1.4. Экранирование электрического поля
2.1.5. Многослойное экранирование
2.1.6. Перфорированные экраны
2.2. Фильтрация
2.2.1. Расчет эффективности фильтрации
2.2.2. Помехоподавляющие элементы. Монтаж фильтров. Миниатюрные фильтры
2.2.3. Фильтрация цепей питания цифровых узлов
2.3. Заземление
2.3.1. Принципы построения системы заземления
2.3.2. Схемы заземления
2.4. Подавление помех от вторичных источников электропитания
2.4.1. Помехи от импульсных источников питания

Глава 3. Конструирование монтажных соединений
3.1. Особенности конструирования монтажных соединений
3.2. Расчет электрических параметров линий связи
3.2.1. Проводной монтаж
3.2.2. Печатный монтаж
3.2.3. Тонкопроводной и стежковый монтаж
3.3. Конструирование многослойных печатных плат с учетом требований внутриаппаратурной ЭМС
3.4. Помехи в одиночных линиях связи

3.4.1. Помехи в коротких линиях связи
3.4.2. Помехи отражения в длинной линии связи
3.4.3. Длинная линия с линейными нагрузками
3.4.4. Длинная линия с нелинейными нагрузками
3.4.5. Согласование линий связи
3.4.6. Выбор и оптимизация волнового сопротивления линии связи
3.4.7. Отражения от неоднородностей, распределенных по длине линии
3.4.8. Соединители как неоднородность линии связи
3.4.9. Помехи в линиях связи за счет скин-эффекта
3.5. Индуцированные помехи в линиях связи
3.5.1. Взаимные электрические параметры линий связи
3.5.2. Механизм образования индуцированных помех
3.5.3. Индуцированные помехи в электрически коротких линиях связи (магнитная связь)
3.5.4. Способы уменьшения индуктивной составляющей индуцированной помехи (неэкранированные проводники)
3.5.5. Индуцированные помехи при емкостной связи
3.5.6. Индуцированные помехи в длинных линиях связи
3.5.7. Влияние индуцированных помех на функционирование цифровых узлов

Глава 4. Особенности техники измерений в области ЭМС
4.1. Некоторые понятия
4.2. Стандартные методы и средства измерения
4.2.1. Измерение индустриальных радиопомех
4.2.2. Стандартные измерительные средства
4.3. Нестандартные измерительные средства
4.4. Автоматизированные средства измерения
4.5. Экранированные помещения и испытательные камеры
4.5.1. Экранированные помещения
4.5.2. Т-камеры
Список литературы

ПРЕДИСЛОВИЕ

Новое направление современной радиоэлектроники «Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств», возникшее ввиду необходимости решения сложной задачи «электромагнитного сосуществования» различных действующих радиотехнических, электронных и электротехнических средств, становится все актуальнее из-за непрерывного увели чения числа сложных радиоэлектронных систем и комплексов, вызванного электронизацией народного хозяйства страны.

Настоящая книга предназначается конструкторам-технологам РЭА и ЭВА. В ней изложены основные положения по конструированию, учитывающие требования обеспечения ЭМС. В гл. 1 приведены сведения о характеристиках ЭМС источников и рецепторов НЭМП, необходимые конструктору-технологу для расширения теоретических знаний и взаимопонимания с другими специалистами, участвующими в разработке и производстве РЭА и ЭВА. На практике недостаточность таких знаний приводит к тому, что многие аспекты ЭМС различных изделий

не учитываются в процессе разработки как по формальным причинам из-за отсутствия требований в техническом задании (ТЗ), так и по неясности причин возникновения НЭМП и степени их влияния. Кроме того, бытует ошибочное представление о несущественности требований ЭМС по сравнению с требованиями к аппаратурной надежности, малым габаритным размерам, влиянию температуры, влаги, механических нагрузок и других факторов.

Однако конструктор-технолог должен видеть проблему жизнеспособности изделия в целом в условиях его эксплуатации с учетом реальной электромагнитной обстановки (ЭМО), в которой оно должно функционировать. В процессе разработки и производства изделия требования к обеспечению его ЭМС должны учитываться на всех этапах и в такой же степени, как и требования к миниатюризации или аппаратурной надежности. Поиск конструкторских решений часто носит итеративный характер, и поэтому новое решение должно приниматься обязательно с учетом необходимости обеспечения ЭМС разрабатываемого изделия. Например, на ЭМС может повлиять применение новых радиокомпонентов, в том числе микросхем, или новой технологии производства.

В связи с изложенным в книгу включен разд. 1.4, содержащий вопросы реализации конструкторских характеристик ЭМС изделия, относящиеся к деятельности конструктора-технолога, разрабатывающего РЭА или ЭВА на современной элементной базе с использованием средств САПР. К этим вопросам относятся методы измерений и испытаний РЭА и ЭВА, в том числе по конструкторским параметрам ЭМС. Очевидно, что этап испытаний разрабатываемого изделия на соответствие требований ЭМС при его работе с другими средствами является основным для проверки правильности конструкторских решений. Кроме того, перед конструктором-технологом возникает задача создания контролепригодных изделий и определения средств их технической диагностики по параметрам ЭМС.

Конструкторские основы обеспечения ЭМС РЭА и ЭВА изложены в гл. 2 и 3, где содержатся теоретические и практические сведения, в том числе инженерные расчеты, относящиеся к методам реализации конструкторских параметров ЭМС. Рассматриваются задачи экранирования источников и рецепторов помех, фильтрации помех, компоновки отдельных устройств в комплексе средств, конструирования монтажных соединений, построения рациональной системы заземления и другие задачи конструкторско-технологического характера, связанные с обеспечением ЭМС на внутриаппаратурном и (или) внутрисистемном уровнях. Уделено внимание методам подавления помех в источниках вторичного питания, снижения уровня помех в монтажных соединениях, уменьшения искажений сигнала в линиях передачи различных видов, включая тракты с высоким быстродействием.

Последняя гл. 4 посвящена измерениям и испытаниям РЭА и ЭВА на соответствие требованиям к характеристикам ЭМС. Рассмотрены основные методы измерений и испытаний, в том числе измерения эффективности помехоподавляющих фильтров. Описана стандартная и нестандартная измерительная аппаратура. Уделено внимание перспективным в области

ЭМС автоматизированным измерительно-вычислительным комплексам. Однако из-за ограниченности объема книги обсуждены лишь принципиальные стороны техники измерений и испытаний.

Главы 1 и 4 предлагаемой книги подготовил А. Д. Князев, гл. 2 — Б. В. Петров и гл. 3 — Л. Н. Кечиев.

ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитная совместимость радиоэлектронного (а также электронного и электротехнического) средства — это его способность функционировать совместно и одновременно с другими техническими средствами в условиях возможного влияния непреднамеренных электромагнитных помех (НЭМП), не создавая при этом недопустимых помех другим средствам.

Это понятие распространяется на методы и средства защиты РЭА и ЭВА от влияния НЭМП и ослабления таких помех в их источниках и (или) среде распространения. Оно не относится к технике создания преднамеренных электромагнитных помех и защиты от них (радиопротиводействие).

Задача обеспечения ЭМС различных РЭА и ЭВА возникла как следствие научно-технического прогресса в радиотехнике, электронике и связи по следующим причинам:

непрерывное возрастание общего числа РЭА и ЭВА как следствие электронизации народного хозяйства страны;

недостаточное число свободных от помех радиоканалов во всех освоенных диапазонах;

возрастание общего уровня помех от главным образом индустриальных источников;

усложнение функций и состава РЭА и ЭВА; . сосредоточение различных видов РЭА и ЭВА в ограниченном пространстве, например на самолете, корабле, ИСЗ;

несовершенство технических характеристик РЭА и ЭВА, от которых зависит их ЭМС;

миниатюризация аппаратуры, что в ряде случаев приводит к снижению энергии полезных сигналов и уменьшению отношения сигнал-помеха.

Как следствие, стало характерным чрезмерное использование многих радиоканалов во всех освоенных радиодиапазонах, что привело к росту уровней НЭМП; увеличилось число типов и видов устройств и систем, подлежащих защите; возник новый прикладной аспект радиотехники, который на первых этапах развития был чисто практическим («борьба с радиопомехами»), а на последующих превратился в самостоятельное научно-техническое направление

«Обеспечение ЭМС». Это направление стало неотъемлемым фактором развития радиотехники, электроники и связи, поскольку с увеличением числа средств различного назначения актуальность его будет сохраняться.

Задачи защиты от НЭМП возникали и на ранних этапах развития радиотехники, но, как правило, имели частный характер. Однако в 50-х годах было установлено, что для многих видов средств они имеют общий характер и их решение должно быть комплексным (помехозащита устройств, подверженных влиянию НЭМП, и одновременно ослабление помех в их источниках и среде распространения).

В 60-х годах стала широко применяться ЭВА. Накапливаемый опыт ее эксплуатации привел к заключению, что сбои вычислительных операций во многих случаях возникают из-за помех, в том числе распространяющихся по цепям питания. Это обстоятельство расширило практику обеспечения ЭМС и позволило рассматривать более общую задачу помехозащиты не только РЭА, но и ЭВА.

В 70-х годах стали активно развиваться средства электронной автоматики. Их применение в различных отраслях народного хозяйства, например для автоматизации производственных процессов (станки с числовым программным управлением (ЧПУ), роботы, гибкие автоматизированные производства (ГАП) и др.), показало, что нормальная работа может нарушаться при действии разнообразных НЭМП. Если же рассматривать перспективы развития подобных средств, то значение задачи их помехозащиты может только возрасти. Так, роботы следующих поколений будут снабжены средствами ВТ и распознающими устройствами. Они должны обладать высокой точностью позиционирования и потому будут нуждаться в более совершенных способах помехозащиты . Все это еще более расширяет область ЭМС различных технических средств.

В 70-х годах в радиотехнических средствах все чаще стали использоваться элементы цифровой техники (ЦТ), что позволило реализовать новые функции. И если ранее для радиотехнических средств было характерным выделение сигнала в пункте приема в том же виде, что и в пункте передачи (например, речевого, телевизионного, телеграфного), то совокупность радиотехнического и электронного устройств позволила решать новые задачи путем обработки и преобразования сигнала в пункте приема к виду, существенно отличающемуся от вида в пункте передачи (например, сигнал для непосредственного управления механизмами). Тем самым произошел качественный скачок в развитии средств, которые стали называться радиоэлектронными *. Дальнейшее совершенствование радиоэлектронных средств (РЭС) привело к возникновению сложных радиоэлектронных систем и комплексов, предназначенных для автоматизированной обработки больших потоков информации, как правило с помощью ЭВМ. Примерами являются автоматизированные системы управления воздушным движением (УВД), космической радиосвязи, космической метеорологии и др.

В 80-х годах развитие РЭС ускоряется вследствие больших успехов в миниатюризации элементной базы. Применение малогабаритных устройств ЦТ позволяет повысить точность, разрешающую способность, стабильность работы и другие показатели эффективности функционирования. Однако наличие в РЭС двух

функционально связанных частей — радиотехнической и электронной, а также возрастание числа элементов и устройств, подлежащих помехозащите, приводит в целом к более сильному влиянию НЭМП по сравнению с влиянием на радиотехнические средства и, следовательно, к усложнению задачи обеспечения ЭМС. Этот вывод важен для конструктора, разрабатывающего РЭС.

За последние 25 лет значительно возросло число РЭС, применяемых во многих отраслях народного хозяйства. Это особенно относится к радиосистемам гражданской авиации, морского флота и сухопутных служб различного назначения. В результате увеличилось число источников НЭМП как внутри систем, так и между ними, что еще более осложнило решение проблемы ЭМС.

Появляются в области ЭМС и новые задачи. Например, в 80-х годах получила развитие «автомобильная электроника», назначение которой — создание и эксплуатация электронных устройств для автоматизированного (с использованием ЭВМ) управления автомашиной. В этом случае проблема ЭМС — это обеспечение совместного и одновременного функционирования без помех большого числа электронных устройств, размещенных в непосредственной близости и связанных процессами управления автомашиной.

Важное значение имеет проблема ЭМС в военной технике. Иллюстрацией может служить гибель английского эсминца «Шеффилд» от управляемой ракеты, выпущенной аргентинским самолетом (англо-аргентинский конфликт, 1982 г.) *. Поисковая РЛС эсминца не могла быть использована из-за отсутствия ЭМС с корабельной спутниковой радиостанцией, работавшей в это время на связь с Лондоном через ИСЗ. Вследствие этого ракета не была обнаружена и на эсминце не были приняты меры, чтобы сбить ее с курса.

Необходимость обеспечения ЭМС при разработке РЭА и ЭВА приводит к расширению круга профессиональных задач конструктора-технолога. Прежде всего это обязательный учет конструкторско-технологических требований обеспечения ЭМС на этапах разработки и производства РЭА и ЭВА. Однако до сих пор такие требования не являются четкими, что усугубляется недостаточно ясным распределением (особенно в области обеспечения ЭМС) сфер деятельности специалистов, участвующих на схемотехническом этапе и этапе конструирования разрабатываемого изделия.

В заключение отметим, что за рубежом задачи обеспечения ЭМС технических средств решаются многими ведущими фирмами. Ежегодно созываются представительные международные симпозиумы по проблеме ЭМС, материалы которых являются вкладом в теорию и практику обеспечения ЭМС. Важные материалы по этой проблеме сосредоточены и пополняются в международных организациях МЭК, СИСПР, МККР, ИКАО и др. Большое значение, например, имеют материалы по обеспечению ЭМС радиоэлектронных средств гражданской авиации и морского флота. Все это подтверждает уже высказанный тезис о том, что проблема ЭМС превратилась в постоянно действующий фактор развития радиотехники, электроники и связи.

Скачать книгу Князев А. Д., Кечиев Л. Н., Петров Б. В. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости.
Москва, Издательство Радио и связь, 1989