Авторский курс «Электромагнитная совместимость каналов передачи электрических сигналов»

Содержание курса (64 часа)

©SERP Industry 4.0

Часть 1 .

Тема 1. Общие подходы к обеспечению помехозащищенности

Перечень рассматриваемых вопросов:

- принцип поэтапного ослабления помехи
- управление спектром цифрового сигнала как способ снижения эмиссии помех
- правила выбора комплектующих для обеспечения ЭМС
- схемотехнические и конструктивные приемы для обеспечения ЭМС
- мероприятия по снижению эффективности путей передачи помехи (правила деления на модули, экранирование, фильтрация)
- разнесение источника и приемника помехи в пространстве, примеры применения
- неэлектрические методы передачи сигналов – аналоговые волоконно-оптические каналы
- структура волоконно-оптического канала
- методы модуляции оптического сигнала, достоинства и недостатки
- конструкторские компромиссы при разработке аналоговых волоконно-оптических каналов
- методы улучшения характеристик аналоговых волоконно-оптических каналов
- симметричные линии связи: определение, преимущества и недостатки
- средства подавления синфазной помехи в широком диапазоне частот
- запас по помехозащищенности: определение, типовые значения, пример вычисления
- программные методы повышения помехозащищенности: интегрирование, усреднение, помехозащищенное кодирование
- сторожевые таймеры как средство повышения устойчивости работы программного обеспечения
- практические рекомендации по отладке систем: порядок поиска неисправностей, методы поиска источника помех, быстрая верификация эффективности принятых мер.

©SERP Industry 4.0

Тема 2. Экранирование линий передачи электрических сигналов

Перечень рассматриваемых вопросов:

- этапы проектирования экранов
- механизмы экранирование электромагнитных помех
- особенности экранирования помех в «ближней» и «дальней» зоне
- дифференциальные уравнения классической теории поля как фундамент для численной оценки эффективности экранов
- теория бесконечного экрана С.А. Щелкунова: оценка потерь на отражение, поглощение энергии помехи и переотражение в экране
- экраны с отверстиями: правила конструирования
- полное поверхностное сопротивление экрана как мера эффективности отвода энергии помехи;
- методы снижения влияния низкочастотного магнитного поля, особенности экранов из пермаллоев
- плетеный экран и экран из фольги: достоинства и недостатки, методы повышения эффективности
- оценка эффективности плетеного экрана: метод баланса мощностей
- многослойные экраны: достоинства, выбор материалов, правила конструирования, схемы подключения
- спиральный экран: достоинства, недостатки, методы расширения частотного диапазона применения
- суперэкраны
- улучшение характеристик ЭМС неэкранированных кабелей на примере ленточного кабеля
- свойства основных материалов, применяемых для экранирования (и их оксидов)
- активные управляемые экраны
- правила проектирования эффективных экранов.

©SERP Industry 4.0

Тема 3. Заземление экранов

Перечень рассматриваемых вопросов:

- значение системы заземления для обеспечения ЭМС изделия
- функциональные группы заземления
- петли заземления, методы борьбы с ними
- схемы систем заземления: одноточечная, многоточечная, последовательная, условия применения
- «плавающая система заземления»: достоинства, недостатки, условия применения
- частотно-зависимые (гибридные) схемы заземления
- правила соединения систем заземления, принадлежащих к различным функциональным группам
- конструктивное исполнение систем заземления: заземляющая поверхность, сеть заземления
- типы проводников для систем заземления: трубчатые, монолитные круглого сечения и ленточные, оценка их индуктивности
- соединение аппаратуры с системой заземления: выбор перемычек, правила монтажа, предотвращение резонанса на перемычках заземления
  винтовые соединения в системах заземления: правила выбора метизов, подготовка поверхности, защита соединений от коррозии
- снижение переходного сопротивления в точке винтового соединения
- схемы соединения экранов кабелей с системой заземления и условия их применения: с одного конца, с двух концов, интервальное соединение
- гибридные схемы соединения экрана с системой заземления
- соединение экранов с использованием отвода: ограничения на использование, правила выполнения
- расширение частотного диапазона использования отводов от экрана
- метод круговой заделки кабельного экрана
- методы обеспечения низкоомного соединения в цепи «экран кабеля-хвостовик соединителя-корпус соединителя (кабельная часть) – корпус соединителя (блочная часть) – корпус оборудования»
- технологии соединения экрана кабеля с хвостовиком соединителя

©SERP Industry 4.0

Тема 4. Резонанс

Перечень рассматриваемых вопросов:

- определение резонанса, электрический резонанс
- последовательный и параллельный колебательные контуры: резонансная частота, добротность, ток и напряжение на частоте резонанса
- влияние резонанса на параметры ЭМС системы
- антенна-монополь и антенна-диполь: конструкция и условие возникновения резонанса
- обзор факторов, влияющих на эффективность антенн
- экран кабеля как антенна
- обнаружение источников излучения (скрытых антенн) в системе и оценка их частоты резонанса
- резонанс в системе заземления: механизм возникновения, последствия, методы снижения влияния
- резонанс на элементах RLC-фильтров: инверсия фильтров, методы повышения частоты инверсии
- затухающие гармонические колебания («звон») в цифровых каналах и линиях питания: методы подавления
- использование снебберов для подавления переходных процессов
- методика оценки параметров RC-снеббера, пример использования методики
- методика подавления резонанса в аудиоканалах
- резонанс на ферритовых фильтрах (габаритный и электрический): условия возникновения и методы снижения влияния
- резонанс в полости: условия возникновения и методы снижения влияния
- резонанс на кромках отверстий корпуса: условия возникновения и методы снижения влияния

©SERP Industry 4.0

Тема 5. Фильтрация сигналов

Перечень рассматриваемых вопросов

- возможности фильтрации, методы фильтрации электрических сигналов, типы фильтров
- требования к фильтрам, обусловленные характеристиками системы: влияние импеданса линии на эффективность фильтрации, связь импедансов источника и приемника сигнала и конфигурации фильтров
- требования по подавлению помех и условиям эксплуатации
- сравнение основных конфигураций RLC фильтров, правила выбора блокирующего элемента
- правила монтажа фильтров
- фильтры цифровых сигналов: методика оценки параметров C- и LC-фильтров (с примерами)
- преобразование фильтров второго порядка в фильтры третьего порядка
- сетевые фильтры: устройство, правила выбора
- ферритовые фильтры: основные характеристики, правила применения
- повышение эффективности ферритовых фильтров
- токи смещения ферритовых фильтров
- учет дополнительных параметров ферритовых фильтров: зависимость магнитной проницаемости от температуры, диэлектрическая проницаемость ферритов
- правила монтажа ферритовых фильтров
- фильтры «линия потерь»
- применение конденсаторов в дискретных фильтрах: сравнение типов конденсаторов, паразитные параметры конденсаторов, методы снижения паразитной индуктивности
- применение катушек индуктивности в дискретных фильтрах: паразитные параметры, методы снижения паразитной емкости
- применение резисторов в дискретных фильтрах: сравнение типов резисторов, методы снижения паразитных параметров
- трансформаторы гальванической развязки: паразитная емкость, варианты электростатического экранирования трансформаторов, компенсация магнитного поля трансформатора
- синфазные дроссели: влияние паразитной емкости на эффективность фильтрации
- фильтр-контакты: устройство, правила применения, основные характеристики
- алгоритм выбора фильтр-контактов

©SERP Industry 4.0

Тема 6. Стабильность и долговечность параметров ЭМС

Перечень рассматриваемых вопросов:

- факторы неопределенности параметров ЭМС при эксплуатации оборудования
- факторы, определяющие стабильность параметров кабельных экранов: технологические факторы, механические и климатические воздействия
- стабильность параметров кабельных экранов при эксплуатации внутри помещения
- коррозия элементов системы заземления: влияние на параметры ЭМС, виды коррозии
- факторы, определяющие скорость развития коррозии
- влияние коррозии на значение переходного сопротивления винтовых соединений: критерии качественного соединения, обеспечение долговечности низкоомного сопротивления
- гальваническая коррозия: условие начала реакции
- факторы, определяющие скорость развития гальванической коррозии
- методы противодействия гальванической коррозии
- сравнение подходов к определению электрохимической совместимости
- использование покрытий для различных условий эксплуатации
- проактивный подход к борьбе с коррозией
- пассивная интермодуляция в системе заземления: механизмы возникновения нелинейностей в точке контакта поверхностей
- точки возникновения пассивной интермодуляции в кабельных сетях
- пример влияния пассивной интермодуляции
- влияние механических воздействий на переходное сопротивление в системе заземления
- методы повышения стабильности переходного сопротивления в системе заземления
- рост вискерсов на бессвинцовых покрытиях: факторы, определяющие скорость роста, мероприятия по противодействию
- методы инструментального контроля качества переходного сопротивления в эксплуатации
- стабильность параметров керамических конденсаторов: температурная стабильность, старение, разброс параметров при производстве

©SERP Industry 4.0

Часть 2.

Тема 7. Проектирование печатных плат

Перечень рассматриваемых вопросов:

- эффективность затрат на разработку печатных плат: пирамида обеспечения ЭМС, преимущества одноплатной компоновки
- схемы заземления на печатной плате: преимущества одноточечной схемы
- поверхности заземления на печатной плате: правила выполнения, критерий необходимости
- решетка из проводников заземления, ее сравнение с поверхностью заземления
- правила устройства системы питания на двусторонних печатных платах
- использование внешних шин питания, их преимущества и ограничения
- система питания на многослойной печатной плате, правила сегментирования и соединения сегментов по переменному току высокой частоты
- правила выполнения «аналогового» и «цифрового» питания
- понятие структуры печатной платы (стека)
- преимущества и недостатки одно- и двухслойных плат
- многослойные печатные платы, критерии качества с точки зрения ЭМС
- «строительные блоки» многослойной платы
- четырехслойные печатные платы: типовая и улучшенная структуры, экранированные структуры
- шестислойные печатные платы: сравнение трех вариантов структур
- восьмислойные печатные платы: сравнение четырех вариантов структур
- десятислойные печатные платы: сравнение четырех вариантов структур
- двенадцатислойные печатные платы: сравнение двух структур
- сравнение стеков печатных плат: от 2 до 12 слоев
- алгоритм выбора стека печатной платы
- упрощенный алгоритм выбора стека печатной платы: преимущества и ограничения
- зонирование печатной платы: правила деления сигналов на группы
- порядок расстановки компонентов на печатной плате
- пример выделения функциональных зон
- расположение и подключение аналогово-цифровых устройств
- приемы повышения уровня изоляции обратных токов АЦП высокой разрядности (18 бит и выше)
- развязка по питанию: роль конденсаторов развязки
- многозвенные схемы развязки по питанию, конденсаторы с пониженной паразитной индуктивностью
- распределенная емкость поверхностей питания и заземления: оценка доступности распределенной емкости
- эффект от применения развязки по питанию

©SERP Industry 4.0

- определение емкости конденсаторов развязки первого звена: алгоритм и пример
- определение емкости конденсаторов развязки второго и третьего звена
- правила монтажа конденсаторов развязки: от первого звена до третьего
- монтаж конденсаторов развязки аналогово-цифровых устройств
- правила раскладки печатных проводников: порядок и правила раскладки шин данных
- неоднородности на пути обратных токов в многослойных печатных платах: типы и влияние на параметры ЭМС
- правила конструирования печатных плат для уменьшения неоднородностей
- экранирование на печатной плате от магнитного и электрического поля: общие правила
- экранирование поверхностями питания и заземления
- экранирование печатными проводниками: правила раскладки экранирующих проводников и их заземления
- экранирование решетками из переходных отверстий
- металлизация свободной поверхности печатной платы: правила выполнения, преимущества и ограничения
- нежелательные эффекты от экранирующих структур на печатной плате
- соединение печатной платы с системой экранирующего заземления прибора: три типа соединений, правила их выполнения и условия применения
- ограничение резонансных явлений при заземлении печатной платы
- печатные проводники высокоскоростных сигналов: критерий «длинной линии» с учетом ЭМС
- полосковые и микрополосковые линии: сравнение параметров для обеспечения волнового сопротивления
- симметричные линии связи: правила раскладки проводников
- использование элементов поверхностного монтажа в симметричных линиях
- влияние структуры диэлектрика на параметры симметричной линии: природа влияния, методы его снижения
- факторы, влияющие на стабильность волнового сопротивления симметричной линии
- влияние переходных отверстий на параметры симметричных линий
- согласование линий связи на печатной плате: общие правила
- влияние емкостной нагрузки на волновое сопротивление линии связи
- схемы согласования по волновому сопротивлению: последовательная схема, параллельная схема, схема Тевенина, схема согласования по переменному току, диодная схема
- правила оценки параметров элементов различных схем согласования
- схема согласования двунаправленной линии передачи данных

©SERP Industry 4.0

Тема 8. Обеспечение функциональной безопасности в отношении ЭМС

Перечень рассматриваемых вопросов:

- последствия игнорирования функциональной безопасности в отношении ЭМС
- актуальность нового подхода к обеспечению ЭМС
- перечень «слепых пятен» при реализации традиционного подхода к конструированию высоконадежных систем
- возможности повышения надежности и функциональной безопасности в рамках традиционного подхода
- препятствия на пути внедрения нового подхода к обеспечению ЭМС
- полнота безопасности в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012
- обеспечение функциональной безопасности: процесс по ГОСТ IEC/TS 61000-1-2-2015
- детализация плана обеспечения функциональной безопасности
- межсистемные взаимодействия: описание процедуры оценки
- применение «простых моделей» при оценке межсистемных взаимодействий
- внутрисистемные взаимодействия: учитываемые факторы, правила применения «матрицы ЭМС»
- разработка «ЭМС – спецификации» системы: общие правила
- типовые ошибки при разработке «ЭМС – спецификации»
- методы разработки «ЭМС-спецификации»: правила применения, сравнение эффективности, применяемые стандарты
- индуктивные методы, дедуктивные методы, методы «мозгового штурма»
- учет неопределенностей при разработке «ЭМС-спецификации»
- внедрение системного подхода при обеспечении ЭМС: этапы внедрения
- оценка бюджета службы ЭМС, ее роль при разработке высоконадежных систем
- вовлечение смежных служб в процесс обеспечения ЭМС, вариант программы обучения
- роль руководителя службы ЭМС на всех этапах проектирования: от согласования ТЗ до этапа испытаний опытного образца
- реализация системного похода при обеспечении ЭМС: от этапа согласования ТЗ до этапа испытаний опытного образца
- планирование работ по обеспечению ЭМС
- план управления ЭМС: назначение, правила разработки, содержание разделов
- план испытаний на ЭМС: назначение, правила разработки, содержание разделов
- инструменты конструктора при обеспечении ЭМС: анализ критичности отказов, простые модели, исследовательские испытания, перечни самоконтроля, базы знаний, отказоустойчивые архитектуры, анализ «уязвимых частот», использование многослойной защиты, снижение

вероятности отказов, углубленный анализ «безопасных режимов», мониторинг внешних воздействий
- «простые» и «сложные» системы: различие в подходах к проектированию
- правила выбора стандартных модулей для выключения в состав высоконадежных систем
- процесс контроля разработки новых модулей для выключения в состав высоконадежных систем
- разработка плана верификации и валидации системы в отношении ЭМС
- перечень мероприятий верификации и правила их выполнения
- нестандартные испытания: правила формирования программы
- правила оценки испытательного запаса при использовании ГОСТ МЭК 61508-2-2012
- выбор вида и уровня испытательных воздействий
- мероприятия по обеспечению ЭМС в ходе производства и монтажа системы на основном изделии
- мероприятия по поддержанию параметров ЭМС в ходе эксплуатации систем

©SERP Industry 4.0

Часть 3.

Тема 9. Обеспечение комплексной защиты радиоаппаратуры от импульсных помех

- влияние импульсных помех на радиоэлектронную аппаратуру
- импульсные помехи малой длительности
- импульсные помехи большой мощности
- колебательные затухающие импульсы
- взаимодействие источника импульсной помехи и защитных элементов
- основные принципы комплексной защиты

©SERP Industry 4.0

Тема 10. Электростатические разряды

- природа разрядов и их виды
- электростатический разряд на электронный компонент
- электростатический разряд на корпус оборудования
- электростатический разряд на незаземленные конструкции
- проникновение импульсных помех в систему
- последствия воздействия импульсных помех
- факторы, влияющие на уровень защиты оборудования
- преобразование импульсного тока в напряжение помехи в контуре
- реализация ступенчатого принципа защиты
- оценка уровня устойчивости системы к сбоям в работе
- оценка запаса устойчивости системы к сбоям
- роль надежности в отношении ЭМС при разработке изделия
- заградительные меры защиты от импульсных помех
- ограничители амплитуды: трудности сравнения характеристик
- стратегии шунтирования импульсных токов
- приемы отладки системы в отношении импульсных помех
- пути протекания высокочастотных и низкочастотных токов
- снижение эффективности паразитных емкостных связей
- снижение вероятности проникновения тока разряда в схему
- правила экранирования: роль системы заземления
- правила экранирования: щелевые антенны на пути импульсных токов
- правила экранирования: воздушные зазоры
- перехватывающие экраны
- защита межблочных кабельных линий
- стандартизация испытаний, моделирование параметров разрядов
- стандарты, описывающие испытания оборудования на устойчивость к ЭСР
- стандарты, описывающие испытания компонентов на устойчивость к ЭСР
- испытания аппаратуры на стойкость к ЭСР по ГОСТ 30804.4.2-2013
- испытания компонентов на стойкость к ЭСР человеческого тела (HBM) по ГОСТ Р 53734.3.1-2013
- испытания компонентов на стойкость к ЭСР машины (MM) по ГОСТ Р 53734.3.2-2013
- испытания компонентов разрядом на нейтральный объект (CDM) по ГОСТ Р 53734.3.3-2016
- импульс линии передачи (TLP) по IEC 62615-2010
- связь между видами импульсных воздействий
- не стандартизированные разряды: разряд кабельной линии
- не стандартизированные разряды: разряд печатной платы
- ступенчатая защита от импульсных токов на печатной плате
- сравнение методик оценки стойкости к ЭСР по ГОСТ 30804.4.2-2013 и ГОСТ 53734.3.1-2013
- сравнение основных принципов внутренней защиты микросхем
- приемы защиты микросхем от компонент разряда по ГОСТ 30804.4.2-2013

©SERP Industry 4.0

- последовательно включенные фильтрующие элементы: резисторы, ферритовые фильтры, катушки индуктивности
- многоэлементные фильтры импульсных помех
- ограничители амплитуды импульсных помех: зажимные и коммутирующие элементы
- ограничители амплитуды импульсных помех: общие правила выбора
- правила выбора коммутирующего элемента
- преимущества использования гальванической развязки
- индуктивная гальваническая развязка: «за» и «против»
- оптическая гальваническая развязка: «за» и «против»
- емкостная гальваническая развязка: «за» и «против»
- изолирующие усилители аналогового сигнала
- изоляторы цифрового сигнала
- взаимодействие электростатического разряда со схемой в проводящем корпусе
- правила шунтирования импульсных токов
- заземление схем в композитных корпусах

©SERP Industry 4.0

Тема 11. Особенности применения варисторов для ограничения амплитуды наносекундных импульсных помех

- устройство защитного элемента
- параметры варисторов: напряжение пробоя
- параметры варисторов: максимальный импульсный ток
- параметры варисторов: вольтамперная характеристика
- параметры варисторов: паразитная емкость и индуктивность
- снижение нагрузок в зависимости от количества импульсов
- снижение нагрузок при повышении температуры окружающей среды
- оценка амплитуды полезного сигнала и импульсного тока
- импеданс источника импульсной помехи
- последовательное соединение варисторов
- параллельное соединение варисторов
- температурные коэффициенты варисторов
- причины снижения срока службы варисторов в цепях питания
- схемы защиты источника сигнала при отказе варистора
- защита варисторов с использованием плавких вставок
- интегрированная защита с использованием термисторов

©SERP Industry 4.0

Тема 12. Особенности применения полупроводниковых супрессоров (TVS) для ограничения наносекундных импульсных помех

- зенеровские диоды (стабилитроны)
- отличия супрессоров и стабилитронов
- сравнение свойств различных типов защитных элементов
- характеристики полупроводниковых супрессоров
- взаимозаменяемость стабилитронов и супрессоров
- температурная корректировка напряжения пробоя супрессора
- повышение уровня защиты чувствительных приемников сигнала
- координация супрессоров с внутренней диодной защитой
- координация супрессоров со стабилитронами и тиристорами
- преимущества и ограничения внешней диодной защиты
- снижение импульсной нагрузки на систему электропитания
- защитные сборки с низкой паразитной емкостью
- правила выбора и применения супрессоров

©SERP Industry 4.0

Тема 13. Переходные процессы при коммутации реактивной нагрузки

- быстрые переходные процессы (EFT)
- переходные процессы при коммутации резистивной нагрузки
- отключение индуктивной нагрузки
- коммутационные импульсы трансформатора и линии связи
- коммутационные импульсы соленоидов и реле
- свойства коммутационных импульсов
- коммутационные помехи в бортовых сетях наземной техники
- пусковой ток трансформатора
- влияние коммутационных помех на полупроводники и контакты реле
- влияние коммутационных помех на надежность систем
- процесс коммутации механических контактов
- дуговой и искровой электрические разряды между контактами
- влияние электрических разрядов на механические контакты
- граничные условия комбинированного электрического разряда
- эрозия поверхности механических контактов при размыкании цепи
- скорость эрозии поверхности механических контактов
- свойства серебряных контактов
- свойства палладиевых, вольфрамовых и ртутных контактов
- рекомендации по применению механических реле
- схемы управления двигателем постоянного тока
- предотвращение дребезга контактов реле
- методы защиты контактов от коммутационных помех
- диодная схема защиты от коммутационных помех
- схемы защиты на основе стабилитронов и супрессоров
- сравнение схем защиты на основе диодов и супрессоров
- схемы защиты контактных групп на пассивных элементах
- выбор параметров элементов емкостной защиты: расчет
- упрощенный метод оценки параметров элементов емкостной защиты
- схема защиты контактов на основе RCD - снаббера
- схемы защиты транзисторного ключа от коммутационных выбросов
- пример влияния защитной схемы на уровень кондуктивных шумов
- емкостная нагрузка как причина возникновения пусковых токов
- средства ограничения пусковых токов
- схемы ограничения пусковых токов на основе термисторов
- ограничение пусковых токов резистивной нагрузки

©SERP Industry 4.0

Тема 14. Программные средства обеспечения помехоустойчивости систем

- программное обеспечение как ключевой элемент надежности системы
- общие приемы разработки программ для высоконадежных систем
- задачи программного обеспечения при воздействии импульсных помех
- преимущества программных средств защиты перед аппаратными
- обработка программных ошибок в условиях импульсных помех
- условия применения сторожевых таймеров
- выбор периода таймера
- расположение точек сброса счетчика таймера
- точки подключения входа сторожевого таймера
- пример алгоритма анализа корректности исполнения кода
- алгоритм анализа исполнения программ под управлением ОСРВ
- контроль корректности исполнения длительных процедур
- автономные сторожевые таймеры: достоинства и недостатки
- интегрированные сторожевые таймеры: достоинства и недостатки
- подключение сторожевого таймера к входу немаскируемого прерывания
- использование многоступенчатых сторожевых таймеров
- приемы повышения эффективности сторожевых таймеров
- сторожевой таймер с двумя значениями «периода счета» (WWDT)
- приемы повышения надежности схем слежения на сторожевых таймерах
- работа сторожевого таймера в «режиме минимальной задержки»
- роль сторожевого процессора и правила его выбора
- функции сторожевого процессора
- понятие сигнатуры программного кода
- упрощение процесса формирования сигнатур
- модификации метода формирования сигнатур исполняемого кода
- пример использования метода редуцирования защищенного кода
- преимущества и недостатки использования сигнатурного анализа
- ограничения сигнатурного анализа при большом количестве переходов
- использование программных меток - токенов
- поиск ошибок и восстановление корректной работы программы
- заполнение неиспользуемых областей памяти программ
- неиспользуемые векторы прерываний и рекурсивные процедуры
- назначенные области памяти и «потенциально опасные» данные
- программно-определяемые приемы снижения эмиссии помех
- приемы коррекции ошибок при выполнении программы
- область действия резервных копий для разных типов ошибок
- механизмы восстановления поврежденных массивов данных
- резервирование критических параметров функционирования
- использование семплирования при чтении цифрового сигнала
- прочие методы обнаружения ошибок при считывании сигналов

©SERP Industry 4.0

- избыточные коды: обнаружение и корректировка ошибок
- циклический избыточный код (CRC)
- многократное резервирование при хранении данных
- защита содержимого критически важных регистров процессора
- защита режима записи данных
- оценка затрат на внедрение процедур защиты ПО
- задача обеспечения баланса при обеспечении надежности системы
- требования к инструменту обнаружения «электромагнитной атаки»
- использование функции автоподстройки генератора тактовых сигналов

©SERP Industry 4.0

Часть 4.

Тема 15. Теория и практика высокочастотного корпусного экранирования

- стратегия разработки экранов
- общие подходы к разработке экранов
- дополнительные преимущества электропроводных корпусов
- понятие эффективности экранирования
- «волновая» и «токовая» теории экранирования
- импеданс электрического и магнитного полей
- ослабление интенсивности поля в ближней и дальней зонах
- отражение энергии помехи на границе сред с отличающимся импедансом
- оценка импеданса экрана
- оценка потерь на отражение в зависимости от типа поля
- потери на отражение и условия применения экрана
- отражение помехи для снижения эмиссии помех
- скин-эффект и его влияние на поглощение энергии помехи
- оценка коэффициента переотражения
- общая характеристика эффективности экранирования
- факторы снижения эффективности экранирования РЭА
- формирование поверхностных токов в проводнике
- правила изоляции поверхностных токов экрана
- приемы изоляции поверхностных токов: экранирование
- приемы изоляции поверхностных токов: фильтрация
- отверстия в экранирующей стенке
- изменение ориентации щели в экране для снижения эмиссии помех
- эффективность дифракционных экранов
- прозрачность отверстий: оценка снизу
- прозрачность отверстий: оценка сверху
- прозрачность нескольких отверстий: оценка снизу
- прозрачность массива одинаковых отверстий
- ограничения простых формул при оценке параметров экрана: пример
- оценка эффективности перфорированного экрана
- влияние расстояния «источник-приемник» и боковых вырезов

©SERP Industry 4.0

- взаимная емкость деталей и снижение излучения щели
- правила разработки корпусов с отверстиями: обобщение
- правила разработки корпусов с отверстиями: обобщение
- принцип действия предельных волноводов
- эффективность предельных волноводов
- прозрачность отверстий в ближней зоне
- правила использования предельных волноводов
- применимость теории экранирования к различным группам материалов
- изменение магнитной проницаемости ферромагнитных материалов
- магнитная проницаемость на частном цикле
- предельные волноводы вентиляционных решеток
- варианты экранирования вентиляционных отверстий
- использование псевдоволноводов при соединении деталей
- увеличение длины предельных псевдоволноводов
- фальцевое соединение корпусных деталей
- влияние параметров фальцевого соединения на его прозрачность
- варианты псевдоволноводов с непрямолинейным каналом
- пример 1. Сэндвич-структура для крупногабаритных экранов
- пример 2. Токопроводящая прокладка с каналами-волноводами
- снижение прозрачности отверстий для одиночных светодиодов
- мероприятия по изоляции «грязной зоны» для установки дисплеев
- оптически прозрачные покрытия для экранирования дисплеев
- выбор толщины оптически прозрачных покрытий
- возможности сетчатых экранов для индикаторов и дисплеев
- особенности применения сетчатых экранов для дисплеев
- экранирование мембранных клавиатур
- экранирование отверстий под поворотные потенциометры
- экранирование отверстий для ввода электрических сигналов
- последствия использования экранов в качестве «сигнальной земли»
- улучшение характеристик экранирования алюминиевого корпуса: пример
- влияние полостного резонанса на эффективность экранирования
- методы борьбы с резонансом токопроводящих корпусов
- сравнение характеристик немагнитных материалов
- влияние покрытий на эффективность отражения помехи

©SERP Industry 4.0

- проводящие покрытия для электромагнитных экранов
- соединение деталей электромагнитных экранов методом сварки
- методы борьбы с высокотемпературной деформацией при сварке
- прочие технологии изготовления экранирующих корпусов
- защелки и замки на экранирующих корпусах
- петли на экранирующих корпусах
- ножевой механизм сочленения двери с корпусом
- многослойное экранирование для повышения надежности изделия
- многослойное экранирование тонкими экранами
- цели и принципы локального экранирования
- выбор материала и конструкции локального экрана
- металлизированные пластиковые локальные экраны
- виды отверстий в локальных экранах
- управление прозрачностью отверстий в локальном экране: пример
- последствия резонанса в полости локальных экранов
- добротность резонанса локальных экранов и методы ее снижения
- структура полностью экранированного печатного модуля
- структура частично экранированного печатного модуля
- сочетание экранирующего кожуха и радиатора
- экранирование каскадов усилителя промежуточной частоты

©SERP Industry 4.0

Тема 16. Теория и практика низкочастотного корпусного экранирования

- история исследований низкочастотных полей
- заряды в проводнике в отсутствие внешнего электрического поля
- монолитный проводник во внешнем электрическом поле
- незаземленный полый проводник во внешнем электрическом поле
- электрический заряд внутри полого проводника (экрана)
- экранирование электрического поля диэлектриками
- принципы экранирования низкочастотного электрического поля
- правила экранирования низкочастотного электрического поля
- методы экранирования низкочастотных магнитных полей
- экранирование вихревыми токами: принцип действия и требования
- направление вихревых токов в экране
- экранирование вихревыми токами: эффективность экрана
- экранирование катушек индуктивности вихревыми токами
- отклоняющие магнитные экраны: принцип действия и требования
- магнитная цепь магнитостатического экрана
- эффективность экранирования магнитостатического экрана
- многослойные магнитостатические экраны
- оптимальная толщина зазора между оболочками
- многослойные отклоняющие экраны из фольги
- эффективность двухслойного магнитостатического экрана
- предотвращение насыщения магнитостатических экранов
- связь эффективности экранирования и размера экрана
- комбинированный эффект компенсации и отклонения поля
- выбор формы магнитного экрана: сфера и цилиндр
- влияние краевого эффекта цилиндрического экрана на эффективность
- влияние угла наклона линий поля и конусности экрана на эффективность
- выбор формы магнитного экрана: параллелепипед
- выбор формы магнитного экрана: плоский листовой
- выбор формы магнитного экрана: канальный с тремя стенками
- сравнение свойств плоского и канального магнитных экранов
- сравнение свойств замкнутых и незамкнутых экранов: пример

©SERP Industry 4.0

- зависимость эффективности экрана от свойств материала: пример
- снижение влияния отверстий в магнитном экране на его эффективность
- эквивалентная толщина сетчатых экранов
- эффективность сетчатых магнитных экранов
- материалы магнитных экранов
- магнитные экраны из магнитомягких ферритов
- снижение магнитного сопротивления в зоне неоднородностей экрана
- термообработка сплавов для повышения магнитной проницаемости
- размагничивание экранов для повышения магнитной проницаемости
- «магнитное встряхивание» для повышения магнитной проницаемости
- упругая и вязкая компоненты магнитной проницаемости ферромагнетиков
- различия влияния упругой и вязкой компонент на уровень помех
- комбинирование магнитного и высокочастотного экранов
- пример конструкции высокоэффективного магнитостатического экрана

©SERP Industry 4.0

Тема 17. Пластиковые и композитные экранирующие корпуса

- преимущества и ограничения
- токопроводящие краски: сравнение составов
- частотные характеристики токопроводящих красок
- условия получения качественного покрытия на основе красок
- покрытие термонапылением металлов
- сравнение технологий термонапыления
- химическое и электролитическое осаждение металлов
- последствия низкого качества электролитического покрытия
- правила конструирования деталей для электролитического покрытия
- повышение стойкости покрытых деталей к термоциклированию
- технологический процесс химического осаждения
- совместимость пластиков с химическим и гальваническим покрытиями
- электрическое соединение покрытых пластиковых деталей
- замковое соединение покрытых пластиковых деталей
- особенности использования токопроводящих покрытий
- токопроводящие композитные материалы

©SERP Industry 4.0

Тема 18. Токопроводящие прокладки

- назначение и основные требования
- «Ом на квадрат» как мера поверхностного сопротивления
- прокладки на основе эластомеров
- параметры пазов для токопроводящих прокладок
- токопроводящие прокладки между деталями из листового металла
- обеспечение защиты поверхностей, контактирующих с прокладками
- правила применения прокладок с различным профилем
- прокладки на основе эластомеров с проводящим покрытием
- проволочные токопроводящие прокладки
- силиконовые прокладки с вертикально ориентированными проволоками
- ленты пружинных лепестковых контактов
- остаточные деформации токопроводящих прокладок
- усилие обжатия токопроводящих прокладок
- правила обжатия прокладок
- методы сравнения характеристик токопроводящих прокладок
- реактивный импеданс соединительного шва
- влияние типа прокладки на реактивный импеданс шва
- шаг креплений для обжатия прокладки: консервативное правило
- шаг креплений для обжатия прокладки: расчет
- правила выбора момента затягивания винтовых соединений
- ограничения при применении прокладок

©SERP Industry 4.0