

## Самостоятельная лабораторная работа №1

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВНУТРИАППАРАТУРНОЙ ЭМС

**Цель работы:** на примере реальных устройств телекоммуникаций или РЭС обнаружить использованные методы обеспечения внутриаппаратурной ЭМС.

**Задание:**

1. Выбрать устройство телекоммуникаций или радиоэлектронное средство (например, Wi-Fi роутера, мобильного телефона и т.д.).
2. Провести анализ устройства и описать использованные при его проектировании методы обеспечения ЭМС и описать причины, повлекшие за собой такие схемотехнические решения.
3. В отчет представить фото устройства (количество фотографий обусловлено инженерной необходимостью) с указанием использованных схемотехнических методов.

**Методические указания.**

Технические методы обеспечения ЭМС разделяются на:

1. Системотехнические – применяемые для обеспечения совместной работы системы, понимаемой как совокупность устройств, предназначенной для решения общих задач совокупности РЭС:
  - Планирование распределение, перераспределение радиочастного ресурса в пределах одной системы (организационно-технические)
  - Выбор, обеспечение или изменение принципов работы системы.
2. Схемотехнические – различные технические приемы, относящиеся к схемным решениям аппаратуры и выбору параметров элементов, направленных на улучшение показателей, влияющих на ЭМС, и не затрагивающих ни принцип действия аппаратуры, ни ее системные параметры:
  - Использование любых схемных решений, параметрическая оптимизация, применение элементной базы с улучшенными показателями. Применяются на этапе разработки РЭС.
  - Введение элементов или устройств, позволяющих дополнительно ослабить уровни создаваемых помех, восприимчивость рецепторов и ослабление непреднамеренной помехи.

К схемным решениям относятся:

**Экранирование.** Экранирование является средством защиты от помех излучения и может быть использовано для снижения уровня помех, поступающих в окружающее пространство от источников помех, или для повышения помехоустойчивости к помехам излучения рецепторов электромагнитных колебаний. Экран нарушает однородность пространства и создает скачок волнового сопротивления на пути распространения электромагнитной волны, что приводит к отражению и/или поглощению энергии электромагнитной волны.

Функциональные узлы и элементы радиоэлектронных средств, в которых имеются большие токи и малые напряжения, создают в ближней зоне ( $r \leq \lambda/2\pi$ , где  $r$  – расстояние до источника помех,  $\lambda$  - длина волны) электромагнитные поля, в которых преобладает

магнитная составляющая. Функциональные узлы и элементы радиоэлектронных средств, в которых имеются большие напряжения и малые токи, создают в ближней зоне электромагнитные поля с преобладанием электрической составляющей.

В дальней зоне преобладание какой-либо составляющей отсутствует, и каждая составляющая переносит всю энергию электромагнитной волны. В ближней зоне волновое сопротивление воздуха электрическому полю обычно большое, особенно на низких частотах, – оно обратно пропорционально расстоянию от источника поля и частоте. Характеристическое сопротивление воздуха магнитному полю в ближней зоне обычно мало. В дальней зоне, где электромагнитная волна считается плоской, волновое сопротивление воздуха постоянно и составляет примерно 377 Ом.

При проектировании различают три уровня экранирования: уровень компонента, уровень подсистемы и уровень системы в целом (рис. 1).

Одним из распространённых приемов обеспечения ЭМС является проектирование экранирующего корпуса. Эффективность экранирования определяется материалом на относительно низких частотах. На высоких частотах эффективность экранирования определяют апертуры экрана: наличие щелей, отверстий входа/выхода в корпусе экрана, пузыри, раковины в материале экрана и т. п. Корпуса, содержащие излучатели (передатчики), должны обладать максимальными потерями поглощения излучаемых полей. Корпуса, содержащие рецепторы (приемники), должны обладать максимальными потерями отражения падающих полей.

Общей проблемой экранирования на уровне корпуса являются большие отверстия для устройств индикации:

- использование экранированного окна, выполненного в виде двух полосок из стекла или пластика, между которыми находится тонкая металлическая сетка;
- использование стеклопластика с прозрачным проводящим покрытием.

**Важно!** Все соединения в корпусе экрана следует рассматривать как нарушение его непрерывности и принимать меры для специальной обработки швов (стыков), чтобы сохранить целостность экранирования.

Экранирование может использоваться и частично. Если помеху создают только некоторые компоненты системы, то наиболее эффективным подходом является экранирование только тех компонентов или областей, которые создают помеху. Подобное можно часто видеть в решениях СВЧ-устройств, когда некоторые контуры экранируются непосредственно на плате.

При экранировании подсистем и системы в целом могут быть использованы различные материалы (см. практики).

Также проводится экранирование проводов и кабелей (в том числе внутри аппаратуры) является эффективным способом снижения помех и улучшения ЭМС технических средств.

**Фильтрация.** Еще одним схемотехническим решением является установка фильтров. Задача фильтров: защитить полезные процессы, происходящие в технических средствах, обеспечить требуемую помехоустойчивость, допустимые уровни и виды электромагнитных помех, включая помехи на радиочастотах (рис. 1).

Фильтры используют:

- для борьбы с кондуктивными помехами: фильтрация помех в каскадах радиоэлектронной аппаратуры препятствует передаче помех в другие узлы и устройства по проводам, соединяющим эти устройства.
- для подавления симметричных и несимметричных помех в проводах и кабелях между платами и блоками радиоэлектронных и других технических средств и в кабелях между техническими средствами.

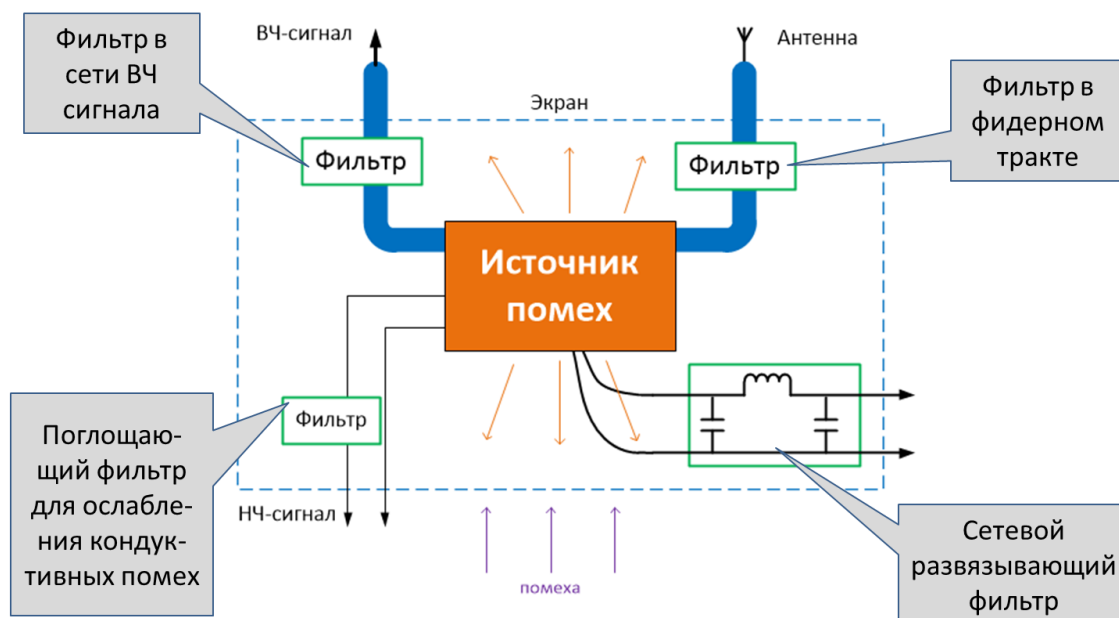


Рисунок 1 – Примеры использования фильтров

Основной характеристикой фильтра, определяющей его фильтрующие свойства, является его частотная характеристика, описывающая зависимость ослабления от частоты.

Фильтры разделяют:

- По принципу действия:
  - Реактивные: состоят из частотно-избирательных элементов с малыми потерями
  - Поглощающие: содержащие в своем составе элементы с диссипативными свойствами
- По типу фильтрации:
  - Нижних частот
  - Полосовые
  - Режекторные
- По целевому использованию:
  - Элемент устройства, участвующий в выполнении основных функций, но имеющий возможность и фильтрации помех.
  - Предназначенный только для ослабления помех.

Невозможность создания идеального полосового или режекторного фильтра приводит к существованию предела достижимого уровня ослабления вне полосы пропускания. Также причинами появления паразитных полос пропускания на частотах, значительно отстоящих от основной полосы пропускания являются:

- Влияние паразитных емкостей и индуктивностей

- Паразитные полосы прозрачности на частотах, кратных  $f_0$
- Резонансы на собственных типах волн или собственных колебаний объемных резонаторов
- Эффект паразитного согласования фидеров с соответствующими антеннами
- Особенности многоволнового распространения колебаний
- Включение новых элементов в линию передачи, наличие изгибов, с круток и пр.

**Заземление.** Важным элементов обеспечения ЭМС является заземление, которое позволяет предотвратить появление паразитных токов. Нерационально построенная система заземления в аппаратуре может явиться источником дополнительных помех!

Если в системе имеется много путей для обратного тока или много соединений с заземлением, то в заземлении возникают контуры тока, что может создавать помехи, нарушающие нормальную работу устройств, особенно работающих со слабыми сигналами: искажать полезные сигналы, вызывать ложные срабатывания в цифровых схемах, приводить к самовозбуждению усилительных устройств и т. п.

Для устранения контуров в заземлении нужно использовать заземление в одной точке (рекомендуется для частот до 1 МГц). На частотах выше 1 МГц паразитные емкости создают скрытые пути для токов экранов, которые образуют контура в заземлении.

Устранение помех, связанных с контурами заземления, можно выполнить, разорвав контур, посредством изоляции цепей, входящих в этот контур.

**Компенсаторы и подавители помех.** Внесение дополнительного блока, ориентированного исключительно на повышение устойчивости к электромагнитным воздействиям не рационально, поэтому используется только в том случае, если другими методами достичь необходимых норм максимально допустимой помехи нельзя. Данные устройства позволяют подавить помеху на 20-40 дБ.

Компенсаторы помех разделяются на:

- одноканальные – используются для разделения АМ и ЧМ сигналов, одновременно поступающих на вход приемника;
- многоканальные – используются в спутниковых системах связи;

Идея работы компенсатора помех: сложение принятого сигнала (полезный+мешающий) и противофазного мешающего сигнала. В качестве примера рассмотрим простейший одноканальный компенсатор помех (рис.2).

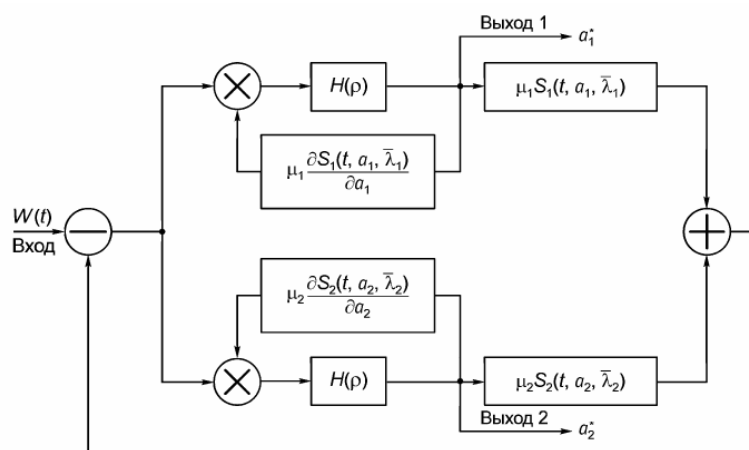


Рисунок 2 - Блок-схема оптимального компенсатора помех с двумя ветвями приема

Здесь  $W(t) = A \sum \mu_i S_i(t, a_i, \lambda_i) + n(t)$  - сложный сигнал, поступающий на вход приемника;  $S_i(t, a_i, \lambda_i)$  -  $i$ -ый сигнал, поступающий на вход приемника, модулированный сообщением  $a_i(t)$ ;  $a_i^*$  - оптимальная оценка процесса  $a_i(t)$ ;  $A\mu_i$ - амплитуда  $i$ -го сигнала.

Подавители импульсных помех блокируют приемный тракт на время действия импульсной помехи, при этом используется замещающий сигнал для маскировки отсутствия полезного. Замена полезного сигнала может происходить методом экстраполяции (рис. 3, а) или интерполяции (рис.3, б). На схемах приняты следующие обозначения: БОИП – блок обнаружения импульсных помех; АТ – аттенюатор; УПИП – устройство подавления импульсных помех; Инт – интерполятор (ЛЗ – линия задержки, ДЦ – цепь дифференцирования).

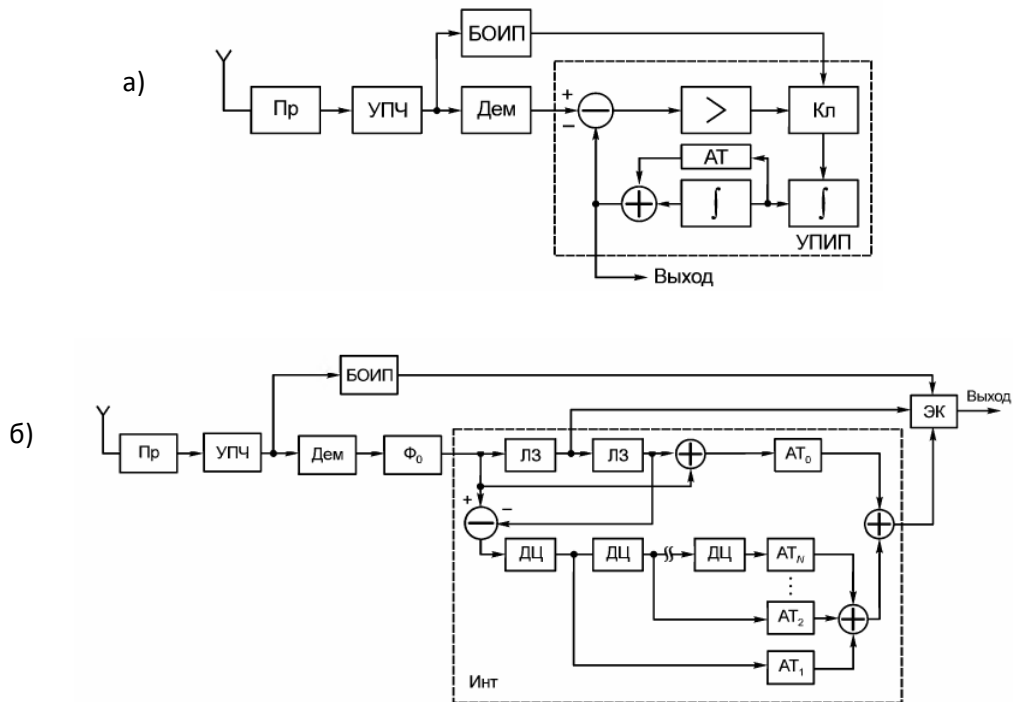


Рисунок 3 – Схемы подавителей помех, использующих метод экстраполяции (а) и интерполяции (б)

**Выбор элементной базы.** Все пассивные компоненты радиоэлектронных схем имеют ограничения по предельным рабочим частотам, которые зависят от конструкторско-технологических особенностей изготовления этих изделий и материала. Для многих активных и пассивных элементов, а также контактных соединений, свойственны внутренние шумы различной природы, являющиеся источниками помех. Наличие конечной индуктивности выводов, различных паразитных емкостей, проявление свойств цепей с частотно-зависимыми параметрами приводят к значительному отличию рабочих параметров устройств от требуемых. Это обуславливает их влияние на процесс создания помех и степень подверженности элементов схемы внешним помехам. Некоторые примеры приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Возможные причины ухудшения помеховой обстановки из-за компонентов

Резисторы	разогрев и изменение сопротивления, искрение, белый шум
-----------	---

Конденсаторы	зависимость емкости от рабочего напряжения, разогрев
Катушки индуктивности	явления резонанса, электромагнитное влияние на другие элементы схемы
Изоляторы	искровой разряд, снижение эффективности за счет поглощения мощности и появлению нежелательных взаимодействий с другими цепями
Кабели (линии связи)	коронный разряд, ухудшение изоляции и экранирования за счет ионизации воздуха
Разъемы	широкополосный шум, затухание, паразитные резонансы токов и напряжений, отражение от неоднородностей

**Конструирование монтажных соединений (линий связи).** Основной задачей при конструктивной реализации соединений электрической схемы является обеспечение допустимого уровня помех, искажений и задержек сигналов, которые зависят от электрических параметров, топологии и геометрических размеров элементов электрических соединений. Рекомендации:

- соблюдать ограничения на допустимую длину невзаимодействующих линий связи;
- учитывать увеличение задержки сигналов при передаче их по несогласованной линии связи;
- ограничивать длину отдельной части витой пары и число обратных проводов, приходящихся на один контакт разъема;
- монтажная плата для выполнения внутриблочных соединений объемным монтажом должна иметь экранирующее покрытие со стороны монтажа;
- выполнять разводку питания и "земли" проводниками с низким сопротивлением;
- сокращать длину печатных проводников, по которым передаются сигналы синхронизации, удалять их от других сигнальных линий или выполнять частичное экранирование разделяющим печатным проводником, соединенным с общей «землей»;
- проводить сигнальные проводники в соседних слоях под углом 90° или 45°;
- ограничивать длину взаимных участков межэлементных связей в одном слое с учетом числа взаимодействующих цепей и количества разъемов в них;
- выполнять экранированным проводом или коаксиальным кабелем взаимосвязанные соединения на части длины, превышающей допустимую;
- располагать друг под другом шины питания и "земли" в соседних слоях для увеличения емкости конструктивного фильтра;
- делать секционированными шины питания и "земли" и использовать развязывающие конденсаторы для уменьшения помехи по питанию индуктивного характера.