

## НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ВЧ-ДИЗАЙНУ

### ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Импеданс** может быть определен как некоторое препятствие (сопротивление) протеканию переменного тока в системах, работающих с переменным напряжением. Таким образом, импеданс представляет собой комплексную величину.

**Спектральная характеристика** сигнала может быть сопоставлена со спектром светового излучения с множеством цветов и представляет собой набор синусоидальных сигналов некоторых частот с определенными амплитудами.

**Частота** сигнала определяется как количество полных циклов изменения тока или напряжения этого сигнала в секунду.

**Длина волны** представляет собой расстояние, проходимое волной, в течение одного полного цикла. Необходимо понимать, что это расстояние не всегда относится к воздушной среде. В воздухе радиоволны распространяются со скоростью света, но в электронных устройствах (в частности, печатных платах) скорость распространения уменьшается из-за диэлектрических эффектов. В воздушной среде или вакууме скорость света очень близка к величине 300 мм в наносекунду, в типичных печатных платах она опускается до 150 мм в наносекунду. Таким образом, сигнал частотой 300 МГц, например, в печатной плате будет иметь длину волны около 500 мм. Поэтому часто в расчетах необходимо учитывать влияние диэлектрических эффектов.

**Временная и частотная области** – два метода исследования поведения переменного тока или напряжения. Первый метод относится к поведению сигнала во времени, второй – к поведению амплитудно-частотной характеристики.

**Линия передачи** представляет собой некоторую структуру, предназначенную для передачи высокочастотной энергии с одного места к другому. Характеристический импеданс (конечное сопротивление электрически однородной линии передачи) – очень важная величина с точки зрения передачи максимальной энергии сигнала, а также для согласования входного и выходного импедансов различных элементов схем. Линии передачи имеют много разновидностей, но при разработке печатных плат наиболее часто применяются несимметричные микрополосковые (*microstrip*), встроенные микрополосковые (*embedded microstrip*) и полосковые (*stripline*) линии передачи (рис. 1). Каждый из этих типов обладает своими собственными параметрами. Чаще всего в печатных платах присутствуют встроенные микрополосковые линии передачи, располагающиеся на поверхности платы и покрытые сверху слоем лака (маски). Расчеты таких линий без учета диэлектрической постоянной могут привести к ошибке в 10 и более процентов.



Рис. 1. Полосковые линии передачи

Под **несущей** традиционно понимается центральная частота, которая переносит радиосигнал. Для передачи информации несущая может модулироваться различными способами.

**Модуляция** – процесс изменения поведения несущей частоты для передачи информации.

**Полоса частот** – диапазон частот вокруг интересующей частоты.

**Поверхностный эффект (скин-эффект)** – явление, при котором переменный ток стремится протекать по поверхности проводника при увеличении частоты. Скин-эффект приводит к увеличению импеданса проводника при увеличении частоты сигнала.

**Резонансная частота** – частота, при которой реактивные сопротивления последовательно или параллельно включенных индуктивности и конденсатора равны. Последовательная резонансная схема обладает низким импедансом на резонансной частоте, а параллельная резонансная схема – высоким (рис. 2).

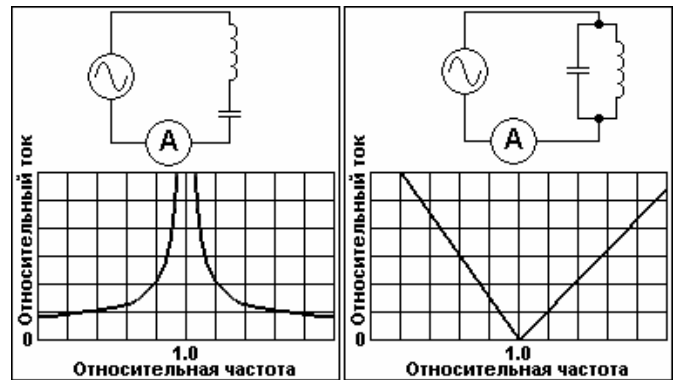


Рис. 2. Резонансные характеристики контуров

**Измерение мощности** – метод измерений (в контексте ВЧ-приложений), при котором характеристики схемы или устройства в целом предпочтительнее определять отношением мощностей, чем в абсолютных единицах напряжения или тока. Это значение обычно выражается логарифмом отношения и описывает усиление или потери усилителей или других схем. Значения отношений, выраженные в логарифмических единицах, более удобно складывать и вычитать, чем умножать и делить абсолютные величины.

**Диэлектрическая постоянная** – критерий воздействия свойств изоляционного материала на проходящую волну радиочастотного излучения или соседний материал, отнесенный к эффекту воздействия такой же волны, проходящей через воздух.

### РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ

Как и в подавляющем большинстве случаев, аккуратное и тщательное размещение компонентов является ключом к хорошей работе схемы. Оптимальное размещение компонентов уменьшает длину шин

высокочастотных сигналов, уменьшает или устраняет полностью взаимовлияние сигналов и минимизирует связь между мощными и чувствительными частями схемы.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛУЧШЕГО ПУТИ СИГНАЛА

Перед общей разводкой необходимо тщательно продумать пути высокочастотных сигналов, что предполагает минимизацию длины высокочастотных

трасс, уменьшение взаимовлияния сигналов, за исключением особых случаев, разнесение входных и выходных шин усилителей и фильтров.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ

Во время размещения компонентов необходимо следить за распределением рассеиваемой мощности на печатной плате. Это особенно важно при разработке устройств, питание которых осуществляется от батарей или аккумуляторов. Такие устройства обычно содержат

несколько энергопотребляющих частей, которые могут включаться и выключаться независимо друг от друга, что увеличивает время непрерывной работы источника питания.

## ЭКРАНЫ

Экраны используются для уменьшения паразитного взаимовлияния сигналов. Использование их повышает стоимость и увеличивает размеры устройства, а также требует особой внимательности к их заземлению. Тем не

менее, в некоторых случаях лишь применение экранов позволяет решить задачу предотвращения влияния между сильноточными и слаботочными частями схемы.

## ТЕПЛОВОЕ РАССЕЯНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Как и во всех других типах дизайна печатных плат, необходимо помнить о равномерном (по возможности) тепловом распределении и стараться не располагать

рядом друг с другом тепловыделяющие компоненты во избежание проблем, связанных с перегревом.

## СОПРОВОЖДЕНИЕ

В общем случае, желательно уменьшение стоимости печатной платы, следуя умеренным требованиям к дизайну, уменьшая количество слоев и используя приемлемые типы переходных отверстий. Однако, для

высокочастотных приложений такие подходы часто неприемлемы из-за жестких специфических требований к качеству сигналов, особенно, для миниатюрных разработок.

## РАЗДЕЛЕНИЕ ВЧ-ТРАСС

Параллельные трассы высокочастотных сигналов не должны проходить близко друг от друга и пересекаться на соседних слоях. Если же последнее происходит, то необходимо, чтобы пересечение осуществлялось под прямым углом для минимизации связи между ними. В идеальном случае, пересечение таких трасс должно быть разделено слоем с земляным полигоном.

индуктивностью и емкостью, что может быть причиной снижения качественных характеристик точных схем.

Полигон земли, к сожалению, не всегда имеет нулевой потенциал во всех точках, т.к. он тоже обладает

Высокочастотные трассы на каждом слое должны быть в достаточной мере окружены земляными шинами, которые, в свою очередь, должны иметь хорошее соединение с земляным полигоном. Краевые и угловые эффекты этих земляных шин и самих высокочастотных трасс должны быть минимизированы.

## КОНТРОЛЬ ИМПЕДАНСА

При разводке для получения приемлемых результатов необходимо использовать хороший калькулятор импеданса, который позволял бы рассчитать требуемые ширины проводников на внешних и внутренних слоях. CAD-системы, которые могут производить подобные расчеты, используют специфические классы цепей и позволяют достаточно просто добиваться приемлемых результатов. Хорошие калькуляторы импеданса, обладающие достаточной точностью можно найти на сайтах фирм IPC [[www.ipc.org](http://www.ipc.org)] и UltraCAD [[www.ultracad.com](http://www.ultracad.com)]. Более полный и универсальный калькулятор можно найти на сайте фирмы Polar Instruments [[www.polarinstruments.com](http://www.polarinstruments.com)].

Для работы на частотах до 5 ГГц недопустимо применение при разводке прямых углов в разводке трасс. Такие углы создают нарушения однородности импеданса и должны полностью исключаться. Длина высокочастотных трасс, проходящих по внутренним слоям, должна быть минимальной. Они обычно в большей степени подвержены влиянию других сигналов. Переходные отверстия ВЧ-трасс добавляют паразитную индуктивность к уже и без того имеющейся. Поэтому их количество должно быть оптимальным с точки зрения протяженности трассы. Кроме того, такие переходные отверстия могут передавать высокочастотную энергию на противоположную сторону с возможными пагубными последствиями.

## РАЗДЕЛЕНИЕ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ТРАСС

Усилители могут начать работать нестабильно или даже стать генераторами неконтролируемых колебаний при возникновении положительной обратной связи с выхода на вход. В большей мере это касается усилителей с большим коэффициентом усиления.

Фильтры также могут ухудшать свои качественные характеристики при влиянии выходного сигнала на входные элементы.

## РАЗВЯЗКА

Расположение компонентов развязки напряжения питания также важно. При использовании составных развязывающих конденсаторов, необходимо следить за тем, чтобы высококачественные керамические конденса-

торы располагались вблизи (насколько это возможно) с выводами питания микросхем.

При разводке шин питания также необходимо проявлять внимание. Расстояние между выводом питания микросхемы и развязывающим конденсатором должно

быть минимальным, а общий вывод этого конденсатора должен непосредственно и кратчайшим путем

соединяться с земляным полигоном.

### **АНАЛОГОВЫЕ, ЦИФРОВЫЕ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СИГНАЛЫ**

Большое внимание должно быть уделено разделению аналоговых, цифровых и высокочастотных сигналов. Особенно важно хорошо разнести цифровые сигналы от чувствительных ВЧ-компонентов и низкоуровневые аналоговые сигналы от ВЧ-сигналов любых уровней.

Кроме того, важно обеспечить разделение путей возвратных токов этих сигналов. О взаимовлиянии возвратных токов часто забывается, что приводит к серьезным перекрестным помехам.

### **ЗАЛИВКА СВОБОДНЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Области на всех слоях, свободные от компонентов и проводников, должны быть залиты полигоном, подключенным через множество переходных отверстий к полигону земляного слоя. Это благоприятно влияет на увеличение эффективной площади полигона земли и приводит к уменьшению излучения и наводок. Земляные полигоны, расположенные на нескольких слоях, должны соединяться переходными отверстиями по краям платы, вокруг всех вырезов и крепежных отверстий для предотвращения утечек высокочастотной энергии.

Необходимо внимательно следить за возможностью появления любых протяженных узких областей земляных полигонов между выводами компонентов. Такие области необходимо либо удалять, либо соединять дополнительными переходными отверстиями с полигоном слоя земли. Без таких действий эти островки могут выступать в качестве антенн ВЧ-излучения. На печатной плате не должно быть неподсоединенных залитых областей – они должны быть подсоединены к земляному полигону внутреннего слоя.

### **ВЫВОДЫ**

Хорошему ВЧ-дизайну присущи следующие элементы:

- Полная и очень внимательная разработка от начала и до конца;
- Уделение особого внимания каждому шагу во время размещения компонентов и разводки;

- Непрерывная и всесторонняя оценка действий в процессе разработки с возможностью исправления допущенных ошибок.