

Проникновение помех через скрытую емкость

Контрольная работа № 1 По дисциплине "Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств", Расчет наведенной помехи, Лектор проф. Покровский Ф.Н.

Условия задачи:

Найти:

- А). Амплитуду наводимого сигнала помехи от проводника A на проводник B , расположенных в пучке проводов, если в проводнике A сигнал гармонический (частота F [МГц], амплитуда A {В});
Нагрузка проводника B активная Z_B [кОм]; скрытая емкость связи между проводами C_p [пФ], емкость без потерь.
Б). Фазовый угол наведенного сигнала в проводнике B (в градусах) по отношению к источнику помехи.

Зачем нужен вам этот расчет? Что он добавит к тому, что вы уже изучили?

Отвечаю на этот вопрос:

Расчет, прежде всего, дает наглядное представление о физических особенностях появления помех в электронных устройствах и позволяет в упрощенном виде получить количественную оценку некоторых свойств помехи, проникающей через скрытую емкость между проводниками.

Какими проводниками? Любыми, включая проводники на печатной плате.

Рис. 1. Здесь в упрощенном виде представлена часть печатной платы, на которой между микросхемами IC_1 и IC_2 имеются две проводящие медные дорожки с покрытием, защищающим поверхность металла от коррозии при эксплуатации.

Рис.2 – эскиз расположения двух проводников на печатной плате.



Рис. 1. Упрощенный фрагмент печатной платы с двумя проводниками

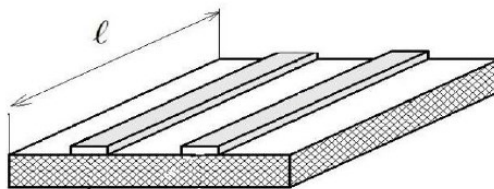


Рис. 2. Модель двух проводников

Емкостная скрытая связь присутствует практически всегда между любыми проводниками (объемными или печатными), расположенными в радиоэлектронном средстве.

При протекании тока через проводник A вокруг него образуется попеременно (с частотой тока) электрическое и магнитное поля. Если ток незначителен, тогда напряженность электрического поля, создаваемого проводником A , преобладает над напряженностью его магнитного поля. Такое явление характеризует наличие скрытой емкостной связи между проводниками (при этом наличием слабой скрытой связи через магнитное поле пренебрегают).

Эта связь, как и всякая другая, первоначально неучтенная в принципиальной схеме, является причиной возникновения наводок (помех), сопутствующих нормальному функционированию электронного устройства.

Количественная оценка сигнала помехи, проникающего от проводника A к проводнику B за счет скрытой емкости C_{II} , осуществляется электротехническими методами.

Для упрощения расчета и быстрой оценки наводимого мешающего сигнала обычно используют несколько допущений (гипотез), которые будут перечислены ниже.

В результате использования допущений, связь через емкость C_{II} (не имеющую потерь), физически можно представить двумя объемными проводниками, один из которых (проводник A) является источником мешающего сигнала (в англоязычной литературе его называют «агрессором» – *aggressor*), а проводник B воспринимает помеху (в англоязычной литературе его называют «жертвой» – *victim*).

На рис. 3 приведена физическая модель с источником сигнала помехи Ei (с внутренним сопротивлением Zi), проводники A и B , подключенная к проводнику B нагрузка Z_B и скрытая емкость C_{II} .

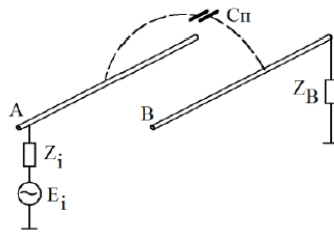


Рис. 3. Физическая модель

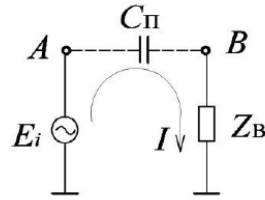


Рис. 4. Эквивалентная схема замещения

Физической модели соответствует эквивалентная схема (электрическая модель), изображенная на рис. 4.

Обратите внимание, что для упрощения решения и наглядности влияния различных эффектов в эквивалентной схеме источник помехи заменен на источник ЭДС (имеющий нулевое внутреннее сопротивление и постоянство напряжения помехи на своих выводах при любой нагрузке), нагрузка Z_B – чисто активная (омическая), ток I является общим для всех элементов цепи и зависит от суммарного сопротивления элементов. Это значит, что напряжение ЭДС источника соответствует сумме напряжений на всех элементах схемы:

$$E_i = I / j\omega C_{\Pi} + I \cdot Z_B$$

Пусть ток изменяется по гармоническому закону, т.е. $I = I_m \cdot \cos \omega t$ (I_m – амплитуда тока). Подсоединенная к источнику цепь содержит последовательно включенные элементы со следующими значениями падающих на них напряжений:

Емкость C_{Π} без потерь:

$$U_{C_{\Pi}} = I_m \cdot \cos(\omega t - \pi/2) \cdot j\omega C_{\Pi} \text{ (Ток через емкость опережает напряжение на емкости на } \pi/2 \text{);}$$

Активное (омическое) сопротивление нагрузки Z_B :

$$U_{Z_B} = I_m \cdot \cos \omega t \cdot Z_B. \text{ (Ток через активную нагрузку совпадает по фазе с напряжением);}$$

Тогда

$$E_i = U_{C_{\Pi}} + U_{Z_B} = I_m \frac{\cos(\omega t - \pi/2)}{j\omega C_{\Pi}} + I_m \cdot \cos \omega t \cdot Z_B.$$

При прохождении по цепи переменного тока на реактивных элементах без потерь возникает соответствующий сдвиг фаз напряжений (на емкости $-\pi/2$, на индуктивности $+\pi/2$).

Соотношения фаз напряжений на элементах схемы замещения наглядно отображается на векторной диаграмме.

На рис. 5, 6, 7 приведена последовательность качественного построения диаграммы вручную.

(Обратите внимание – вектор общего тока I лучше всего расположить не на осях, а в промежуточном положении для четкости восприятия результата).

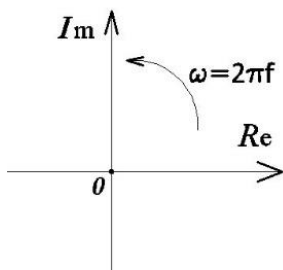


Рис. 5. Координаты векторной диаграммы

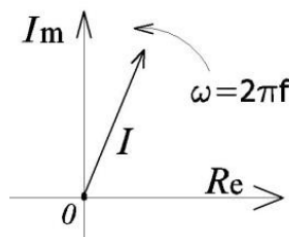


Рис. 6. Произвольное расположение вектора тока I при вращении со скоростью ω

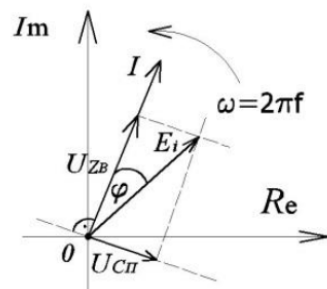


Рис. 7. Вектор напряжения на нагрузке U_{Z_B} совпадает по фазе с вектором тока I и опережает на угол φ напряжение источника помехи

Теперь, после качественного анализа задачи, можно найти количественно искомые амплитуду напряжений и фазовый угол.

Во-первых, это можно осуществить вручную, а, во-вторых, с помощью специализированных программ на компьютере (MicroCap, MatLab, MathCAD, Multisim и др.).

Список принятых упрощающих допущений:

- В проводник **В** помеха проникает только через скрытую емкость C_{II} ;
- Скрытая емкость без потерь;
- Нагрузка проводника **В** имеет чисто омическое сопротивление Z_B ;
- Источник сигнала помехи представлен идеализированным источником ЭДС;
- Проводники **А** и **В** имеют идеальную проводимость (омические потери отсутствуют).

В реальности, рассматриваемая задача обрывается дополнительными уточнениями и условиями.

Например, возникновение перекрестных помех в проводниках печатной платы при передаче цифровой информации на высокой частоте обусловлено распределенной (на единицу длины проводников) емкостью, распределенной индуктивностью проводников, их омическими потерями, топологической конфигурацией, диэлектрической проницаемостью изоляционного основания (подложки) и ее потерями на высокой частоте и некоторыми другими (рис. 8).

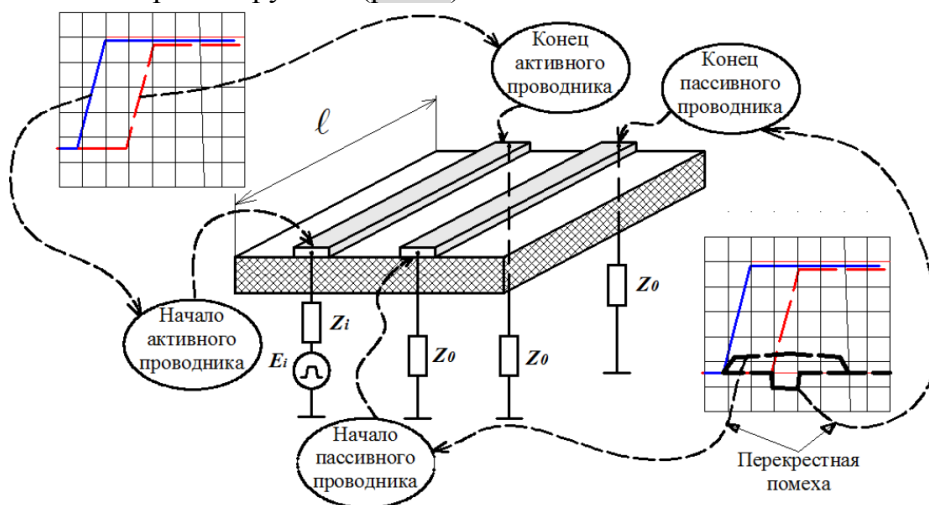


Рис. 8. Форма напряжений наведенных помех имеет специфический характер в начале и конце пассивного проводника

По активному проводнику передается импульсный цифровой сигнал с коротким фронтом, который в конце этого проводника имеет некоторую задержку, вызванную свойствами проводящего материала, топографией дорожки печатной платы, диэлектрическими параметрами подложки, сопротивлениями нагрузки и источника сигнала. В результате перекрестной (между проводниками) наведенной помехи в пассивном проводнике возникает сложный наведенный сигнал, качественный вид которого приведен на рисунке справа.

При решении учебных задач самое главное – получить правильное физическое представление изучаемого вопроса в упрощенном виде, поскольку именно такое представление позволяет выбрать алгоритм решения и в дальнейшем, при необходимости, уточняя упрощения, выявить правдоподобность найденных численных результатов и сравнить их с измерениями на макете или реальном объекте.