

Рисунок 3 – Емкостной датчик давления

Емкостные МЭМС датчики давления отличаются высокой термостабильностью и хорошей временной стабильностью рабочих характеристик. Емкостные МЭМС-датчики давления демонстрируют уникальную точность, надежность и стабильность измерений, при высокой чувствительности к измеряемому параметру [5].

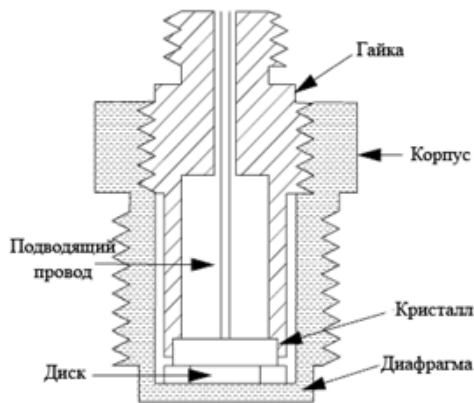


Рисунок 4 – Пьезоэлектрический датчик давления

Принцип действия пьезоэлектрических МЭМС-датчиков давления заключается в следующем: когда давление прикладывается к кристаллу, он деформируется и создается небольшой электрический заряд. Измерение этого электрического заряда пропорционально изменению давления. Этот тип датчика имеет очень быстрое время отклика на постоянные изменения давления.

УДК 621.396

ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ НАИХУДШЕГО СЛУЧАЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Орлов Е.Е., Малый С.В.

*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

При решении задач электромагнитной совместимости необходимо учитывать невозможность получить точные значения ряда параметров, а также возможный разброс других параметров из-за, например, условий эксплуатации анализируе-

мых систем. Чтобы гарантировать работоспособность анализируемой системы, расчет электромагнитных полей для решения задач электромагнитной совместимости должен происходить в предположении наихудшего случая: принимает-

К достоинствам пьезоэлектрического датчика можно отнести его дешевизну, простоту в изготовлении и использовании.

В таких датчиках нужно учитывать влияние обратного пьезоэффекта. Если к пьезодатчику прикладывается электрический потенциал, то поляризация пьезоэлектрика во внешнем электрическом поле влияет на изменение его размеров и механическое воздействие на окружение.

Пьезоэлектрические датчики целесообразно применять при измерении быстроменяющегося давления.

Есть и другие типы датчиков давления, которые можно использовать. Например, можно создать механическую структуру с резонансной частотой, которая является функцией приложенного давления. Подается сигнал, вызывающий вибрацию конструкции, и измеряется изменение резонансной частоты. Такие устройства могут быть очень точными, но их сложно изготавливать и они чувствительны к другим факторам окружающей среды, таким как температура, которые также изменяют резонансную частоту [6].

Исходя из вышеизложенного можно сказать, что емкостные датчики давления в большей мере подходят для измерения параметров воздушных сред.

Литература

1. Mukhopadhyay S.C. Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review. / S.C. Mukhopadhyay. – IEEE Sens. J. 2014, № 15, 1321–1330 p.
2. Lee J.O. A microscale optical implant for continuous in vivo monitoring of intraocular pressure. / J.O. Lee, H. Park; J. Du, A. Balakrishna, O. Chen, D. Sretavan, H. Choo. – Microsyst. Nanoeng, 2017, 3, 17057.
3. Wu N.A miniature fiber optic blood pressure sensor and its application in in vivo blood pressure measurements of a swine model / N. Wu, Y. Tian, X. Zou, Y/ Zhai; K. Barringhaus; X. Wang. – Sens. Actuators B Chem., 2013, 181. – Pp. 172–178.
4. PT ELECTRONICS. – Режим доступа: <https://ptelectronics.ru/>. – Дата доступа: 30.09.2020.
5. Фрайден Дж. Современные датчики / Дж. Фрайден. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
6. AVNET ABACUS. – Режим доступа: <https://www.avnet.com/>. – Дата доступа: 30.09.2020.

ся, что параметры, значение которых неизвестно, максимизируют амплитуду электромагнитного поля в точках наблюдения. Не всегда можно предсказать значение параметра, при котором амплитуда электромагнитного поля в точке наблюдения будет максимальной. В частности, полученное распределение электромагнитного поля может быть изрезано интерференционными эффектами. Изрезанность поля делает результат расчета неустойчивым, поскольку малые изменения значений параметров расчета могут привести к большим изменениям вычисленного значения амплитуды электромагнитного поля.

Рассмотреть наихудший случай методами вычислительной электродинамики можно статистическими подходами, например, с помощью метода Монте-Карло, но в этом случае требуется проведение множества повторяющихся расчетов (итераций) и, соответственно, большие вычислительные ресурсы. Аналитические модели электродинамики дают возможность быстро решать ряд задач (в том числе и на высоких частотах), однако рассчитанное электромагнитное поле также является изрезанным. Для устранения изрезанности рассчитанного поля на высоких частотах может также использоваться статистический подход, однако он является вычислительно затратным даже в том случае, когда на каждой итерации используется аналитическая модель электродинамики. Другой подход заключается в разработке специальных моделей наихудшего случая (см., например, модель излучения провода [1]).

Поскольку аналитические модели применимы только для ограниченного числа простейших задач, актуальной является задача совместного использования методов вычислительной электродинамики и аналитических моделей наихудшего случая при оценке электромагнитной совместимости элементов радиоэлектронных систем.

Общий принцип решения данной задачи состоит в (рисунок 1):

1. Задании пространственной области V , для расчета которой с заданной точностью не имеется аналитической модели наихудшего случая;

2. Выделении замкнутой поверхности S , полностью окруженной однородной диэлектрической средой и охватывающей источник излучения;

3. Расчете распределения ЭМ поля на поверхности S с использованием аналитической модели наихудшего случая;

4. Расчете распределения ЭМ поля в объеме V от эквивалентных источников на поверхности S с использованием метода вычислительной электродинамики с последующей обработкой.

В качестве гибридного метода вычислительной электродинамики используется метод минимальных автономных блоков (МАБ) [2], имеющий ряд преимуществ перед другими методами вычислительной электродинамики (удобство

объединения с другими методами благодаря работе с тангенциальными компонентами элементов плоских волн в качестве источников возбуждения; максимальный размер ячейки сетки, равный $1/4$ длины волны и др.).



Рисунок 1 – Графическая демонстрация предлагаемого принципа объединения аналитических моделей наихудшего случая и метода минимальных автономных блоков

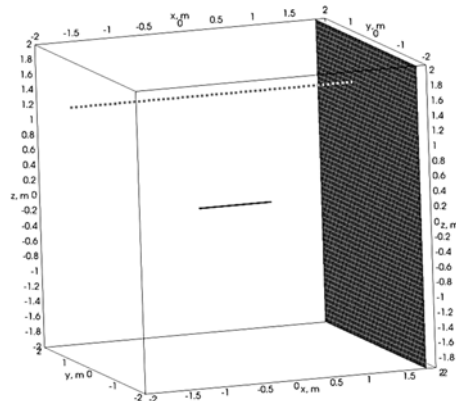


Рисунок 2 – Геометрия тестовой задачи: черными сплошными линиями показаны границы области моделирования, черная поверхность – металлическая стена (моделируется металлизацией каналов МАБ [2]), черная линия посередине – провод, серые точки – точки наблюдения распределения амплитуды электрического поля (рисунок 3)

В рамках моделей наихудшего случая не предсказывается фаза рассчитанных электрического и магнитного полей, только амплитуда. Информация о фазе необходима при задании возбуждения для методов вычислительной электродинамики. Как показали вычислительные эксперименты, следующий принцип позволяет получить приемлемые результаты, не имея информации о фазе возбуждения (т.е. положив ее равной нулю):

Максимально расширять поверхность S , на которой задаются источники. Например, если есть провод (для него разработана аналитическая модель наихудшего случая) рядом с металличе-

ской стеной, то надо возбуждать МАБ полем модели излучения провода наихудшего случая только возле стены, и рассчитывать ЭМ поле в точке наблюдения как сумму поля по аналитической модели провода и поля, рассчитанного методом МАБ (ЭМ поля, отраженного от стены) (рисунок 1).

Применение указанного принципа для тривиальных задач, для которых разработаны аналитические модели наихудшего случая, дает верный результат: поскольку нет объектов, не описываемых аналитической моделью, область S должна распространяться на бесконечность.

Комплексные амплитуды электрического и магнитного полей рассчитываются на основе комплексных амплитуд канальных волн [2]. Для расчета амплитуды электрического и магнитного полей методом МАБ предлагается отбрасывать фазы при амплитудах канальных волн (чтобы уменьшить влияние резонансов).

Для проверки предлагаемой методики произведен расчет распределения амплитуды электрического поля для сегмента провода, расположенного перпендикулярно металлической стенке. Сегмент имеет длину 1 м ($z = 0,01$ м), область расчета V имеет размеры $4 \times 4 \times 4$ м (границы координат по осям: $[-2; 2]$, $[-2, 2]$, $[-2, 2]$ м); Провод расположен вдоль оси x . Координаты центра провода: $(0, 0, 0,01)$ м. Амплитуда тока вдоль провода: 1 мА. Частота расчета: 1 ГГц. Вдоль каждой оси область расчета разбита на 60 блоков МАБ. Результат расчета представлен на рисунке 3. В качестве аналитических моделей («Аналитическая модель» и «Аналитическая модель наихудшего случая») использовались модели излучения одиночного сегмента провода в свободном пространстве, полученные упрощением разработанных ранее моделей для сегмента провода, расположенного параллельно металлической поверхности [1] («Укороченная модель» и «пессимистическая модель», соответственно).

УДК 621.373.52

ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА МИКРОСВАРКИ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 60–140 кГц Петухов И.Б., Кипарин И.Н.

ОАО «Планар-СО»
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в установках присоединения проволочных и ленточных выводов в изделиях электронной техники используется ультразвуковая или термозвуковая микросварка с резонансной частотой ультразвукового преобразователя (УЗП) в широком диапазоне частот – в основном от 60 до 140 кГц. Известны также конструкции УЗП с двойной резонансной частотой,

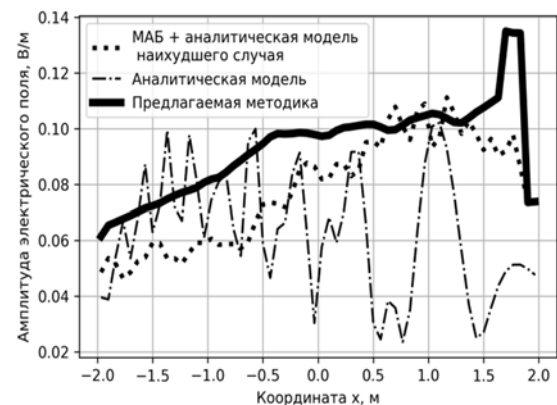


Рисунок 3 – Пространственное распределение амплитуды напряженности электрического поля для тестовой задачи, указанной на рисунке. Координата y равна 0,7 м, координата z равна 1,37 м

Из рисунка 3 видно, что предлагаемый подход позволил получить огибающую для большей части точек наблюдения. Уменьшение амплитуды напряженности электрического поля в области отрицательных значений координаты x предположительно связано с приближением к границе области расчета МАБ.

Предлагаемая методика также проверена на задаче определения амплитуды напряженности электрического поля провода внутри металлического ящика с апертурой. Полученные результаты удовлетворяют требованиям наихудшего случая.

Литература

1. Орлов Е.Е. Вычислительно эффективная широкополосная пессимистическая модель излучения сегмента провода для анализа электромагнитной совместимости / Е.Е. Орлов, Е.В. Синькевич, С.В. Малый // Доклады БГУИР. – 2017. – № 3 (105). – С. 32–39.
2. Никольский В.В. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. – «Наука»: глав. ред. физико-математической литературы, 1983.

той, например, одна резонансная частота в стандартном диапазоне 60 кГц, а вторая – в диапазоне повышенной частоты (≥ 100 кГц) [1]. Это расширяет технологические возможности оборудования монтажа выводов, обеспечивая гибкие режимы микросварки на контактных площадках кристаллов и внешних выводах корпуса или ленточного носителя.