

5. Внедрение АИИС БЭЭ обеспечит оперативной информацией о положении дел в электроэнергетике, необходимой для совершенствования нормативно-технической политики в электроэнергетике.
6. Совершенствование АИИС БЭЭ непосредственно связано с другими национальными проектами (ГЛОНАСС и нанотехнологии), которые предполагают особые требования к качеству электроэнергии.

Список литературы

1. Кутыин Н.Г. ТЭК в условиях кризиса: обеспечение безопасности и надежности ("Советник Президента" Информационно-аналитическое издание № 68 2009).
2. Тухас В.А. О системах мониторинга качества электрической энергии для управления качеством электрической энергии в электроэнергетике // Доклад на Пленарном заседании и Труды Седьмого Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, Санкт-Петербург, июнь 2007 г, с. 17–20.
3. Tukhas V.A., Eintrop S.A. System of Monitoring Power Quality Parameters in Real Time, 9th International Conference Electrical Power Quality and Utilization (EPQU '07), Barcelona, Spain, 9-11 October 2007.
4. Тухас В.А., Цапенко А.В. О безопасности электроэнергетики, связанной с ее качеством. Информационно-технологический подход. // Энергонадзор и энергобезопасность, 2007, №4, с.65–67.
5. Золотая медаль «За единство измерений» за стратегические инновации в разработке и внедрении средств измерения и систем мониторинга качества электроэнергии», Специализированная выставка-конкурс средств измерений и испытательного оборудования «Метрология», г.Москва, 15-16 мая 2007 г.
6. Тухас В.А. Инновации в разработке и внедрении средств измерения и систем мониторинга качества электрической энергии // Доклад на XI научно-практической конференции-выставке Метрология электрических измерений в электроэнергетике, г. Москва, апрель 2008 г.
7. Тухас В.А., Цапенко А.В. Информационно-технологический аспект обеспечения энергетической безопасности в электроэнергетике // Доклад на VII всероссийском энергетическом форуме «ТЭК России в XXI веке», г. Москва, 8-11 апреля 2009 г.
8. Коровкин Н.В., Приходченко Р.В., Тухас В.А. Проблемы поиска источника помех в электросетях общего назначения – Технологии ЭМС. – 2011. – № 1. – С. 50–58.

Елизаров А.А., Закирова Э.А.

О необходимости учета дисперсии при оценке ЭМС многослойных печатных плат микроволнового диапазона

Проведен анализ современных тенденций разработки многослойных печатных плат микроволнового диапазона. Показано, что в этом случае модель платы может быть представлена в виде многомодовой волноведущей структуры, искажение информативного сигнала в которой возникает за счет частотной и пространственной дисперсии. Подчеркнута необходимость учета дисперсионных свойств многослойных печатных плат при оценке их электромагнитной совместимости (ЭМС).

Современный этап развития телекоммуникаций требует создания цифровых и аналоговых систем с высоким быстродействием, которые должны работать с сигналами, фронты которых составляют доли наносекунд, что соответствует частотам гигагерцового диапазона. Повышение частот приводит к появлению «паразитных» параметров в топологических микрополосковых элементах печатных плат (импедансных проводниках, экранах, шинах питания), а также сосредоточенных компонентах (индуктивности и емкости выводов и т.п.), устанавливаемых на платы, что требует учета их ЭМС. Кроме этого, необходимо учитывать и особенности работы гибридных и объемных интегральных схем, имеющих на высоких и сверхвысоких частотах специфические конструкции, которые в боль-

большинстве случаев являются определяющими при выборе параметров печатной платы с учетом ЭМС [1, 2].

Существующие новые решения по разработке и созданию печатных плат микроволнового диапазона направлены, прежде всего, на обеспечение целостности передачи сигнала. Так широко используются многослойные печатные платы с экранированными линиями передачи с минимальной шириной линии 0,7 мм и глубиной канавки 300...500 мкм, отличающиеся высокой помехозащищенностью [3].

Другим перспективным направлением проектирования печатных плат является применение встроенных в толщу платы пассивных сосредоточенных компонентов – резисторов, конденсаторов, индуктивностей, которые используются, например, для согласования микрополосковых линий или развязки трактов.

Приоритетным направлением является тенденция перехода от двумерной конструкции печатной платы к трехмерной. Несмотря на различные возможности реализации многослойных печатных плат, включая использование органических или мягких материалов и высокотемпературной керамики, наибольшие перспективы имеет метод низкотемпературного совместного обжига керамической подложки и схемы (LTCC). Однако и такой метод имеет свои недостатки. Во-первых, в процессе обжига происходит усадка керамики во всех трех измерениях, что затрудняет её последующую обработку, а также ограничивает размер как самой печатной платы, так и расположенных на ней компонентов. Во-вторых, часть модулей должны иметь теплоотвод, монтируемый после обжига [4].

Анализ основных тенденций развития проектирования печатных плат микроволнового диапазона позволяет сделать вывод, что особую роль практически во всех рассмотренных методах и технологиях играют используемые металлические и диэлектрические материалы и их конфигурации, которыми в радиоволновом диапазоне часто не уделяется особого внимания. Так при выборе материала проводников необходимо оценивать потери на излучение и скин-эффект, а при выборе диэлектриков – учитывать, что при скорости передачи информации 1 Гбит/с и более тангенс угла диэлектрических потерь материала основания платы должен быть минимальным (не более 0,001). Кроме того, необходимо учитывать и частотную дисперсию, которая на частотах гигагерцового диапазона начинает проявляться наряду с дисперсией диэлектрической проницаемости (пространственной дисперсией) материала, оказывая влияние на целостность передачи информативного сигнала.

В большинстве случаев разработчики микрополосковых устройств микроволнового диапазона понимают под частотной дисперсией зависимость фазовой скорости электромагнитных волн от частоты или длины волны и, как следствие, изменение формы произвольных волновых возмущений в процессе их распространения. Термин «дисперсия» (от латинского *dispergo* – рассеивать, развевать, разгонять) был введен в физику И.Ньютоном в 1672 году при описании разложения пучка белого света, преломляющегося на границе раздела сред.

Традиционно описание дисперсии основано на представлении произвольного волнового поля в линейных однородных системах в виде совокупности гармонических нормальных волн $A \exp(j\omega t - jkr)$. Круговые частоты ω и волновые векторы k нормальных волн связаны дисперсионным уравнением

$$\omega = \omega(k), \quad (1)$$

в изотропных средах $\omega = \omega(k)$, $k = |k|$ – волновое число. Дисперсия волн имеет место, если уравнение (1) не сводится к линейному и однородному. Ключевыми понятиями при анализе процесса дисперсии волн являются фазовые v_ϕ и групповые скорости v_{gp} . Они различаются между собой (в анизотропных средах не только по величине, но и по направлению), и совпадают лишь при отсутствии дисперсии, когда $\omega = ck$, $v_\phi = v_{gp} = c$, где c – скорость света [5].

Строго говоря, фазовые v_ϕ и групповые скорости v_{gp} определяются для квазигармонических волновых пакетов. Групповая скорость примерно совпадает со скоростью движения огибающей пакета, а фазовая – со скоростью перемещения вариаций поля. Искажениями огибающей волнового пакета и его фазовой структуры можно пренебречь только на ограниченных участках распространения

волны длиной $L \leq l_0^2 / \frac{\partial v_{zp}}{\partial \omega}$, где l_0 – исходная длина волнового пакета. При $L > l_0^2 / \frac{\partial v_{zp}}{\partial \omega}$ волновой пакет расплывается и его характерный размер растет пропорционально пройденному пути, искажая информативный сигнал (рис.1).

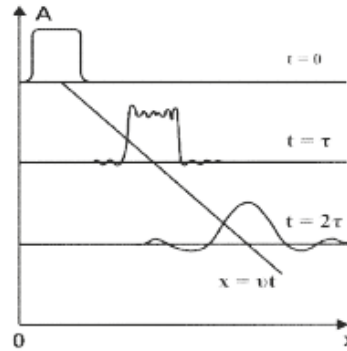


Рис. 1. Пример расплывания волнового пакета. Сначала огибающая импульса искажается в окрестностях наиболее крутых участков (фронтов). При больших временах импульс, продолжая передвигаться в среднем с групповой скоростью, расширяется, а форма его огибающей приближенно повторяет форму пространственного спектра исходного сигнала

Многослойная печатная плата может быть представлена и рассмотрена как волноведущая система, моды которой различаются поперечной структурой полей. Каждой моде могут быть сопоставлены свои фазовые и групповые скорости. Одиночный импульсный сигнал, запущенный в многомодовую систему, распадается на серию отдельных сигналов, распространяющихся с различными групповыми скоростями (рис. 2).

$$D_i(t, r_0) = \int_0^\infty d\tau \int dr \varepsilon_{ij}(\tau, r) E_j(t - \tau, r_0 - r) \quad (2)$$

где ε_{ij} – комплексный тензор диэлектрической проницаемости.

Представив реальную электромагнитную волну в виде разложения по плоским гармоническим волнам с частотой ω и волновым вектором k и перейдя к Фурье-представлению в уравнении (2), получим простую связь между компонентами D и E :

$$D_i = \varepsilon_{ij}(\omega, k) E_j \quad (3)$$

Эффекты пространственной дисперсии в микроволновом диапазоне проявляются слабее, т.к. в большинстве случаев практического применения многослойных печатных плат, длина волны $\lambda \gg a$, где a – характерный линейный размер волноведущей структуры. Поэтому частотная дисперсия в этом случае более существенная, т.к. частоты электромагнитного излучения $\omega \approx 4 \cdot 10^{15}$ Гц и внутриатомных (молекулярных) процессов соизмеримы, и отклик среды часто носит резонансный характер.

Таким образом, проанализированы основные тенденции развития в проектировании многослойных печатных плат микроволнового диапазона, а также показано, что для оценки их ЭМС необходим учет потерь и дисперсии, в значительной мере влияющих на целостность передачи информативного сигнала и его быстродействие.

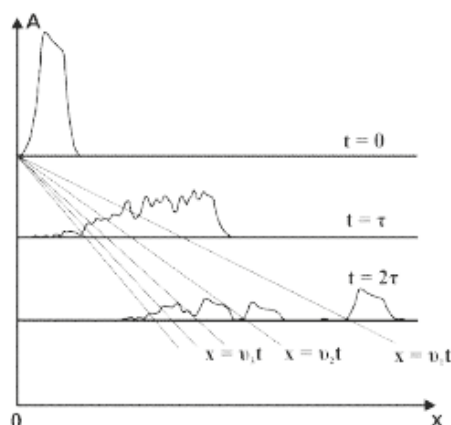


Рис. 2. Распространение квазимонохроматического сигнала в многомодовой волноведущей системе

Список литературы

1. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с.
2. Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с.
3. Tourne J. Micro-machining of Trenches to Form Shielded Transmission Lines. – Printed Circuit Design&Manufacture. – 2004. – № 4. – P. 34–37.
4. Калякина Т.М. Перспективная технология изготовления многослойных ВЧ плат. – Зарубежная радиоэлектроника. – 2000. – № 4. – С. 54–61.
5. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Изд.-во АН СССР, 1953. – 503 с.

Галухин И.А

Защита от ЭСР. Моделирование встроенного элемента защиты

Введение

При разработке аппаратуры, работающей в заданной электромагнитной обстановке трудно оценить поведение элементной базы и устройств в целом при воздействии дестабилизирующих факторов. Для этого нужно проводить натурные испытания опытных образцов. Но экономически намного целесообразней проводить моделирование таких воздействий, как ЭСР, и уже на этапе проектирования аппаратуры вводить необходимые внешние средства защиты. Применяемые внешние меры защиты ИС от ЭСР полностью не исключают возможности повреждения схем. Поэтому при обязательном применении мер внешней (коллективной) защиты, основным средством защиты ИС от ЭСР является встроенная защита, то есть применение защитных схем, выполненных на кристалле ИС в едином технологическом процессе. В КМОП-микросхемах, наиболее подверженных действию ЭСР, применяются встроенные диодные элементы защиты или элементы защиты из МОП-транзисторов.

В данной работе рассматривается моделирование одного из базовых встроенных элементов защиты на МОП-транзисторе: n-МОП транзистор с заземлённым затвором (Grounded Gate NMOS Transistor, GGNMOST). Модель этого элемента защиты, включенная в модели некоторых микросхем, позволит проводить виртуальные эксперименты по воздействию ЭСР на элементную базу и на аппаратуру, в которой она применяется.