

Для модулів з друкованим монтажем значно впливають на режими їх роботи та стабільність функціонування паразитні параметри друкованого монтажу. Урахування цих явищ під час проектування таких модулів надає можливість підвищити якість розробки

Ключові слова: модуль з друкованим монтажем, параметри друкованого рисунка, паразитна ємність, паразитна індуктивність

Для модулей с печатным монтажом значительное влияние на режимы их работы и стабильность функционирования оказывают паразитные параметры печатного монтажа. Учет подобных явлений при проектировании таких модулей позволяет увеличить качество разработки

Ключевые слова: модуль с печатным монтажом, параметры печатного рисунка, паразитная емкость, паразитная индуктивность

For the modules with the printing editing considerable influence on the modes their works and stability of functioning render the parasite parameters of the printing editing. The account of the similar phenomena at planning of such modules allows to multiply quality of development

Keywords: module with printing editing, parameters of printing picture, parasite capacity, parasite inductance

ПАЗАЗИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

В. Я. Журавлев

Кандидат технических наук, профессор*

О. И. Подгайко

Кандидат физико-математических наук, доцент*

*Кафедра проектирования и эксплуатации электронных аппаратов

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

Вступлення

Современный печатный модуль содержит разнообразные по выполняемым функциям элементы и узлы, отличающиеся характером сигналов, их мощностью, частотой и пр. При передаче сигналов по электрическим цепям происходит искажение формы и спектра сигналов, их затухание. Элементы электро монтажа ограничивают передаваемую мощность от источника электроэнергии и рассеивают в окружающее пространство электромагнитную энергию. На печатной плате (ПП) узкие плоские сигнальные проводники располагают на диэлектрическом основании совместно с проводниками электропитания, которые для уменьшения падения на них напряжения выполняются насколько это возможно широкими. Между печатными проводниками имеет место емкостная и индуктивная связь.

Опыт проектирования функциональных узлов с печатным монтажом и оценка их помехоустойчивости показывает, что качество разработки ПП во многом определяется паразитными параметрами печатного монтажа. Оценка допустимых значений паразитных емкости и индуктивности состоит в том, что указанные

явления не должны вызывать наводок на входе какой-либо цепи соизмеримые с уровнем полезного сигнала.

Основная часть

Между проводниками многослойной ПП, находящихся на разных слоях, возникает емкостная связь, когда они находятся друг над другом и создают длинный пленочный конденсатор. Емкость такого конденсатора рассчитывается по формуле [1]:

$$C_{\text{пар}} = 0,0085 \frac{\epsilon S}{d}, [\text{пФ}] \quad (1)$$

где ϵ – диэлектрическая постоянная материала (обычно 4,5 для применяемых стеклотканей);

S – площадь перекрытия проводников, мм²;

d – расстояние между слоями, мм.

Например, если ПП обладает следующими параметрами:

- четыре слоя – сигнальный и слой полигона земли смежные;
- межслойный интервал – 0,2 мм;
- ширина проводника – 0,5 мм;

- длина проводника – 10 мм.

Подставив все значения в формулу (1), получим значение емкости между этими двумя проводниками, около 1 пФ.

Даже такая небольшая емкость в некоторых случаях является недопустимой. При подключении такой емкости к инвертирующему входу высокочастотного ОУ, например КМ 1432 УД 6А [2], происходит удвоение амплитуды выходного сигнала на частотах близких к верхнему пределу его частотного диапазона. На рис. 1 приведена эквивалентная схема такого ОУ.

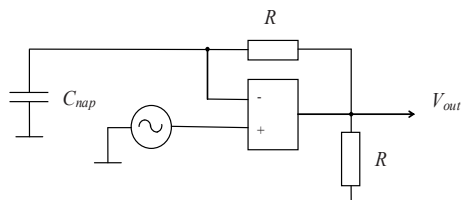


Рис. 1. Эквивалентная схема ОУ

На рис. 2 изображен эффект от емкости в 1 пФ, возникающий при подключении ее к инвертирующему входу высокочастотного ОУ. Удвоение амплитуды входного сигнала на высоких частотах может привести к генерации устройства.

Для решения этой проблемы существует несколько способов. Самый очевидный из них – уменьшение длины проводников. Другой способ – уменьшение ширины печатных проводников. Ширину печатного проводника можно значительно уменьшить, например до 0,15 мм (4-й класс точности согласно ГОСТ 23751), т.к. по проводнику инвертирующего входа протекает небольшой ток. Если уменьшить длину проводника до 2,5 мм, а ширину – 0,15 мм, то паразитная емкость составит порядка 0,1 пФ, а такая емкость уже не приведет к столь значительному подъему частотной характеристики.

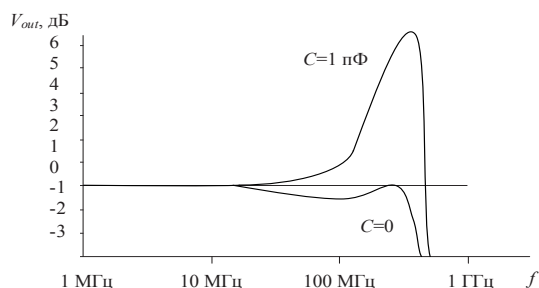


Рис. 2. Эффект от емкости на инвертирующем входе ОУ

Ширину печатных проводников ПП невозможно бесконечно уменьшать. Это обуславливается, как плотностью протекающего тока по проводнику, так и объективными ограничениями технологического оборудования. В свою очередь, предельная ширина ПП определяется, как технологическим процессом, так и толщиной фольги. Трассировка сигнальных проводников не должна выполняться параллельно друг другу. Зазор между проводниками должен быть минимум в три раза больше ширины проводников.

Для односторонних и двусторонних ПП, где два проводника расположены близко друг от друга, между ними образуется емкостная и индуктивная паразитные связи. Фактическое значение паразитной емкости и ин-

дуктивности между соседними элементами печатного рисунка ПП рассчитывают по результатам измерения геометрических характеристик проводников и расстояний между ними. Используя методику расчета паразитных параметров, приведенную в [3], можно рассчитать эти паразитные параметры печатного монтажа.

Паразитная емкость между парой печатных проводников определяется из следующей формулы:

$$C_{\text{пар}} = C_0 l, \text{ [пФ]} \tag{2}$$

где C_0 – погонная емкость, пФ/см;

l – длина участка печатных проводников, на котором возникает связь между ними, см.

Погонную емкость можно найти из следующего выражения:

$$C_0 = K_n \epsilon', \tag{3}$$

где K_n – коэффициент пропорциональности, который определяется из графиков, приведенных в [3];

ϵ' – действующая относительная диэлектрическая проницаемость:

$$\epsilon' = \frac{\epsilon_0 + \epsilon_n}{2}, \tag{4}$$

где ϵ_0 – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

ϵ_n – относительная диэлектрическая проницаемость материала ПП (или материала ПП и лака, который она покрывается).

Например, если ПП обладает следующими параметрами:

- ширина проводника – 0,45 мм;
- расстояние между проводниками – 0,45 мм;
- длина участка печатного рисунка, на котором возникает связь – 30 мм;
- относительная диэлектрическая проницаемость воздуха – 1;
- относительная диэлектрическая проницаемость материала ПП (например, отечественного – СФ, зарубежного – FR-4) – 4,5.

Получаемое значение емкости между двумя проводниками, равно 12,5 пФ. Такая значительная емкость в большинстве случаев является недопустимой.

В аналоговых схемах в качестве элементов развязки и фильтрующих компонентов используются конденсаторы. Обычно применяются электролитические конденсаторы: алюминиевые или танталовые и керамические конденсаторы. Обкладки пленочных и электролитических конденсаторов представляют собой свитые слои фольги, которые создают паразитную индуктивность. Собственная индуктивность у керамических конденсаторов значительно меньше, что позволяет их использовать при работе на ВЧ. Кроме того, конденсаторы обладают током утечки между обкладками, который эквивалентен включенному параллельно их выводам резистору, вдобавок к паразитным последовательно включенным сопротивлениям выводов и обкладок. Все эти сопротивления, складываясь, создают эквивалентное последовательное сопротивление. Поэтому конденсаторы, используемые в качестве развязок, должны обладать малым эквивалентным последовательным сопротивлением, поскольку оно ограничивает эффективность подавления пульсаций и помех.

В табл. 1 представлены максимальные рабочие частоты для распространенных типов конденсаторов.

Из таблицы видно, что из электролитических конденсаторов лучше применять танталовые для частот ниже 1 МГц, а для ВЧ – необходимо применять керамические конденсаторы.

Таблица 1

Максимальные рабочие частоты

Тип	Максимальная частота
Алюминиевый электролитический	100 кГц
Танталовый электролитический	1 МГц
Слюдяной	500 МГц
Керамический	1 ГГц

Следует помнить, что конденсаторы имеют собственный резонанс, поэтому для эффективной работы конденсатора, подавляемые им частоты должны находиться в более низком диапазоне, чем частота собственного резонанса. При несоблюдении этого правила характер реактивного сопротивления будет носить индуктивный характер, а эффективность использования такого конденсатора снизится. На рис. 3 приведены собственные резонансные характеристики двух конденсаторов общего применения – 10 мкФ танталового электролитического и 10 нФ керамического.

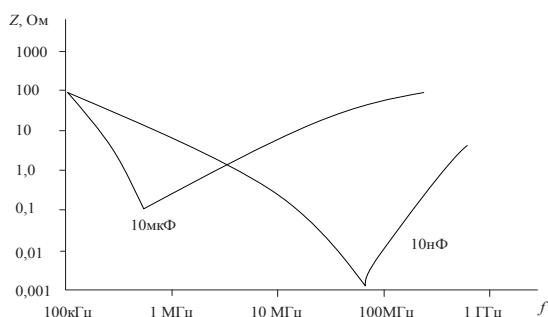


Рис. 3. Собственный резонанс конденсаторов

Рекомендуется для подавления НЧ и ВЧ помех использовать несколько типов конденсаторов: для НЧ помех и шумов необходимо использовать электролитические конденсаторы (лучше танталовые), а для подавления ВЧ помех и шумов – керамические конденсаторы.

Индуктивность печатного проводника можно определить из следующей формулы:

$$L_{нар} = L_0 l, \text{ [мкГн]} \tag{5}$$

где L_0 – погонная индуктивность печатного проводника, которая определяется из графика, приведенного в [3].

Для приведенного выше примера ПП паразитарная индуктивность составит 54 нГн.

Индуктивность печатного рисунка совместно с паразитной емкостью создает резонансный контур, влияние которого сказывается на ВЧ.

Индуктивность печатного проводника можно рассчитать и другим способом [4]:

$$L = 4l \left(\ln \frac{2l}{H+W} + 0,224 \frac{H+W}{l} + 0,5 \right), \text{ [нГн]} \tag{6}$$

где H – толщина ПП, см;

W – ширина ПП, см.

При трассировке двусторонних и многослойных ПП появляется необходимость в создании переходного отверстия, т.е. межслойного соединения. В этом случае возникает индуктивность переходного отверстия. При диаметре отверстия после металлизации – d и длине отверстия – h такую индуктивность можно рассчитать по приближенной формуле [1]:

$$L = \frac{h}{5} \left(1 + \ln \frac{4h}{d} \right), \text{ [нГн]} \tag{7}$$

Например, для часто встречающегося случая, при $h = 1,5$ мм и диаметре монтажного отверстия $d = 0,5$ мм индуктивность переходного отверстия составляет 1,05 нГн.

Как уже отмечалось, резонансный контур, образованный паразитной индуктивностью совместно с паразитной емкостью, может оказать влияние на режимы работы функциональной схемы устройства на ВЧ. Кроме того, если сигнал на протяжении своего пути проходит через несколько переходных отверстий, то их индуктивность складывается последовательно. В этом случае резонансная частота понижается. При большом количестве переходных отверстий в полигоне земли могут создаваться петлевые участки. Для снижения влияния этого рекомендуется при трассировке все сигнальные проводники аналоговых цепей располагать на одном слое ПП.

При размещении операционных усилителей в корпусах типа DIP и пассивных компонентов с проволочными выводами требуется наличие на плате переходных отверстий для их монтажа. В настоящее время, когда к размерам ПП особых требований не предъявляется, такие компоненты еще достаточно широко используются. При использовании навесных элементов увеличиваются геометрические размеры ПП и длины проводников, и это снижает стабильность работы схеме на ВЧ. Кроме того, наличие переходных отверстий, обладающих собственной индуктивностью, накладывает ограничения на динамические характеристики функциональной схемы. Поэтому не рекомендуется применять навесные компоненты для реализации ВЧ схем. Не рекомендуется также размещать резисторы вертикально к поверхности ПП (например, по 3-му варианту установки согласно ОСТ4ГО.010.030), т.к. увеличивается путь прохождения тока по резистору, а сам резистор представляет собой виток индуктивности (петля). Поверхностный монтаж не требует размещение отверстий под каждый вывод компонента, но для тестирования схемы зачастую необходимо выполнять переходные отверстия для контрольных точек.

Выводы

1. Изготавливать ПП следует только из качественных конструкционных материалов, например, СФ – отечественные, FR-4 – зарубежные;
2. Схемы, выполненные на многослойных ПП примерно на 20 дБ менее восприимчивы к внешним помехам, чем схемы, выполненные на двусторонних ПП;
3. Полигоны земли и питания рекомендуется располагать на внутренних слоях многослойных ПП;

4. Проводники должны быть, чем короче, тем лучше. При необходимости проведения длинного проводника необходимо уменьшать его ширину;

5. Для реализации ВЧ схем необходимо использовать компоненты, предназначенные для поверхностного монтажа;

6. Не желательно выполнять на плате лишние переходные отверстия, т.к. их собственная индуктивность может привести к возникновению дополнительных нестабильностей;

7. Не рекомендуется трассировать печатные проводники под прямыми углами. Необходимо сглаживать вершины углов для избегания возникновения отраженных сигналов;

8. Аналоговую часть схемы рекомендуется располагать вблизи соединителя питания, а развязывающие конденсаторы аналогового питания должны подключать только к "аналоговой земле", а не к цифровой;

9. Для подавления НЧ помех и шумов необходимо использовать танталовые конденсаторы, располагая

их у входного соединителя питания, а для подавления ВЧ помех и шумов – керамические конденсаторы. При необходимости для развязки используются несколько конденсаторов для различных частотных диапазонов.

Литература

1. Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с.
2. ОУ и компараторы. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002. – 560 с.
3. Белинский Б.Т., Гондюл В.П. и др. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА. – К: Вища школа, 1992. – 494 с.
4. Свитенко В.Н., Сапожников А.М. Конструирование и микроминиатюризация РЭА с применением АРМ. – Харьков: ХПИ, 1986. – 96 с.

Розглянуто фізичні процеси при лазерно-стимульованій твердофазній дифузії домішок в напівпровідникові матеріали та метали. Наведено приклади застосування таких процесів для вирішення конкретних технологічних задач напівпровідникової електроніки

Ключові слова: лазерно-стимульована дифузія, твердофазні процеси, кремній, галію арсенід, ВІС

Рассмотрены физические процессы при лазерно-стимулированной твердофазной диффузии примесей в полупроводниковые материалы и металлы. Приведены примеры применения таких процессов для решения конкретных технологических задач полупроводниковой электроники

Ключевые слова: лазерно-стимулированная диффузия, твердофазные процессы, кремний, арсенид галлия, ВИС

The physical processes during the laser-stimulated solid phase diffusion of impurity into the semiconductor materials and metals were examined. It was substantiated the application possibility of these processes for solving the specific tasks of semiconductor electronics

Key words: laser-stimulated diffusion, solid phase processes, silicon, gallium arsenide, GIC

УДК 539.219.3:621.378.004.14

СУЧАСНІ ЛАЗЕРНІ ТВЕРДОФАЗНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В СУБМІКРОННІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ВІС

С.П. Новосядлий

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

А.І. Терлецький

Кандидат фізико-математичних наук, асистент*

О.Б. Фрик

Інженер*

*Кафедра радіофізики і електроніки
Прикарпатський національний університет ім.

В.Стефаніка
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ
Контактний тел.: (0342) 71-48-48

1. Вступ

На даний час в технології мікроелектроніки освоєно розміри 0,6-1,2 мкм, а степінь інтеграції досягає

10⁷ активних елементів на кристал. Однак для задоволення потреб промисловості, обчислювальної техніки та автоматики необхідно освоїти розміри 0,25-0,6 мкм, що дає можливість підвищити степінь інтеграції до