

К. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО, В. В. ШАТАЛОВ

Украина, г. Одесса, Нац. политехнический университет, ПКФ «Телекарт»
E-mail: kpra@rtf.ospu.odessa.ua

Дата поступления в редакцию
09.04 2001 г.
Оппоненты А. Б. ДЕРБАСОВ,
А. Г. АЛАВЕРДОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЪЕМНЫХ КОНТАКТОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Рассмотрено моделирование переходных характеристик разъемных контактов электрических соединителей, позволяющее определить влияние контакта на передаваемые сигналы.

Бурный рост развития электронной аппаратуры (ЭА), особенно вычислительной аппаратуры, характеризуется увеличением частот передаваемых и преобразуемых сигналов и уменьшением длительности импульсов и их фронтов. Это вызывает повышенные требования, связанные с быстродействием электрических линий связи, которые в современной ЭА во многих случаях представляют собой длинные линии и должны обладать постоянством импеданса.

В то же время для повышения ремонтпригодности, взаимозаменяемости, технологичности изготовления и применения модульного принципа построения ЭА в линиях связи применяются разъемные электрические контакты, которые создают неоднородность на пути прохождения передаваемых сигналов. В результате происходит нарушение постоянства импеданса этих линий связи, что ведет к задержке передаваемых сигналов, искажению их формы и фронтов. Следует также отметить зависимость свойств контактов от температуры окружающей среды. Эта проблема является актуальной, т. к. диапазон рабочих температур ЭА достаточно велик — $-60^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ и более.

В подавляющем большинстве случаев разъемные контакты используются в электрических соединителях, при этом количество контактов непрерывно растет. Достаточно отметить, что публикация 917 стандарта МЭК предусматривает установку на электронных модулях первого уровня соединителей с количеством контактов почти в 2,5 раза большим, чем на модулях аналогичного размера, соответствующих более раннему стандарту МЭК — публикации 297.

Разъемные контакты характеризуются множеством параметров и показателей, которые определяют их состояние во времени и в различных условиях эксплуатации:

- переходное сопротивление;
- максимальное и минимальное усилие сочленения-расчленения;

- минимальные и максимальные токи и напряжения, которые могут коммутироваться;
- межконтактная емкость;
- индуктивность выводов;
- допустимая температура перегрева;
- допустимое число сочленений-расчленений;
- отсутствие гальванических пар при работе с микротоками.

Такое многообразие параметров (а также конструкций) соединителей затрудняет возможность оценить в полной мере их качественные и количественные показатели при различных сочетаниях значений этих параметров — как на момент начала их работы в электронной аппаратуре, так и в период эксплуатации.

Одновременно следует иметь в виду, что в электронной аппаратуре находят применение большей частью прямоугольные низкочастотные соединители, которые предназначены для работы в цепях переменного тока с частотой до 3 МГц и в цепях импульсных токов. При этом их влияние на передаваемые импульсные сигналы никак не оценивается. Однако есть необходимость их использования на более высоких частотах при достаточно больших скоростях передачи цифровых сигналов, и здесь уже важно, какое они при этом оказывают влияние.

Исследование электрических соединителей традиционными методами с помощью измерений весьма трудоемко, требует физического наличия соединителей с разными вариантами конструктивных решений и проведения испытаний, имитирующих их состояние в процессе эксплуатации. Эффективным путем исследования разъемных контактов, являющихся основной частью электрических соединителей, может быть их моделирование.

Цель статьи — показать возможности и некоторые результаты моделирования контактов электрических соединителей, которые могут быть использованы как для исследования и определения перспектив их применения в современной ЭА, так и для создания новых образцов соединителей с учетом современных требований.

Построение моделей разъемных контактов соединителей

При использовании электрических соединителей в цепях ЭА применяются схемы включения, пред-

ставленные на **рис. 1** (там же показаны соответствующие им эквивалентные схемы).

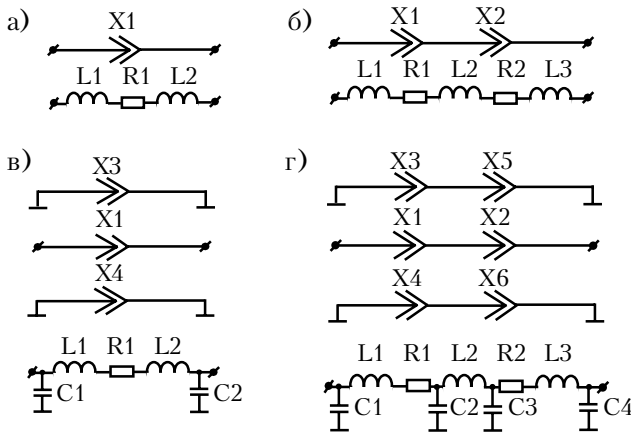


Рис. 1

Схемы рис. 1, а и в относятся к соединителям косвенного сочленения, когда разъемный контакт образуется в месте сочленения вилки и розетки, и прямого сочленения, когда контакт образуется в месте сочленения розетки с концевыми контактами печатной платы. На схемах рис. 1, б и г второй разъемный контакт образован в месте электрического соединения розетки с соединительной печатной платой путем прижима.

Схемы на рис. 1, а и б характерны для случаев относительно отдаленного расположения рассматриваемых контактов от "земляных" цепей, реализуемых через контакты соединителей. Особенностью же схем на рис. 1, в и г является то, что рассматриваемый сигнальный контакт с целью снижения перекрестных помех окружен заземляемыми контактами.

Во всех эквивалентных схемах присутствуют индуктивности, которыми обладают выводы контактных элементов, и сопротивления контактов. Для схем на рис. 1, в и г характерно наличие паразитных емкостей между сигнальной цепью и "землей".

Исследования проводились с контактами соединителей, имеющих различные конструкции, материалы, размеры, покрытия и другие особенности [1]:

ОНП-ВГ-36 и СНО-51 — прямоугольные соединители с плоскими контактами;

ГРППМ10 — прямоугольные соединители с гиперболическими контактами;

РППГ2 — розетки прямого сочленения с ламельными контактами на печатной плате;

2РМД и 2РМ — цилиндрические соединители с цилиндрическими контактами;

ОНп-НС-Х1, -Х2, -Х3 — розетки прямого сочленения с контактами коммутируемой печатной платы и электрического соединения прижимом с соединительной печатной платой [2].

Определение параметров моделей

Контакты электрических соединителей, применяемые в ЭА, эксплуатируются в различных условиях, в т. ч. при различной температуре окружающей сре-

ды. Исследовалось влияние температуры на следующие параметры моделей разъемных контактов:

- емкость между соседними контактами соединителя;
- индуктивность выводов соединителя;
- переходные сопротивления контактов.

Измерение параметров осуществлялось цифровым измерителем L, C, R типа Е7-12. На **рис. 2, а** представлена схема измерения L - и R -параметров, на **рис. 2, б** — схема измерения C -параметров моделей.

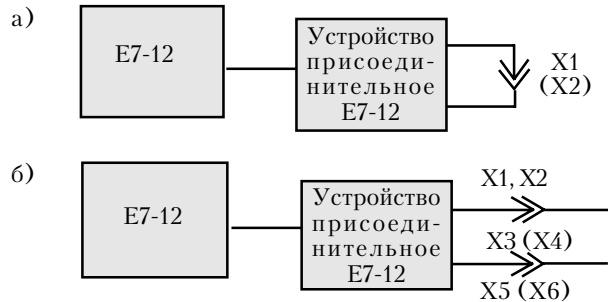


Рис. 2

Измерения производились при температурах -20°C (в камере холода), $+20$ и $+60^{\circ}\text{C}$ (в камере тепла). Результаты измерения представлены в **таблице**.

Для упрощения и уменьшения погрешности измерений параметры L, C, R измерялись одновременно для всей цепи с учетом допущения, что $R1=R2, L1=L2=L3, C1=C2=C3=C4$.

Значения параметров контактов некоторых соединителей можно прокомментировать следующим образом.

Различие индуктивностей выводов объясняется их разными габаритными размерами. У соединителей ОНП-ВГ-36 и ГРППМ-10 размеры выводов практически одинаковы, и индуктивности их, соответственно, тоже близки. Соединитель СНО-51 имеет выводы намного меньшей длины, чем ОНП-ВГ-36 и ГРППМ10, но индуктивности отличаются не намного — ввиду значительно меньшей площади сечения выводов. У соединителей 2РМД и 2РМ индуктивность меньше, чем у ОНП-ВГ-36, т. к. выводы имеют цилиндрическую форму и большую площадь поперечного сечения. Между собой они отличаются длиной выводов. У соединителей ОНп-НС-Х1, -Х2 и -Х3 индуктивность наибольшая, т. к. длина выводов на розетке самая большая. Между собой они отличаются шириной выводов. Аналогично можно объяснить соотношение индуктивностей выводов по другим соединителям.

Емкость между соседними контактами и их выводами зависит от расстояния между ними, размеров и относительной диэлектрической проницаемости материала изолятора. Наибольшей емкостью обладают соединители ОНп-НС-Х3, т. к. у них наибольшая длина перекрытия соседних контактов и, к тому же, расстояние между ними наименьшее. Соединитель РППГ2 имеет наименьшую емкость среди всех соединителей, поскольку совокупность размеров, определяющих емкость, у него наилучшая. Длина выводов у соединителя ОНП-ВГ-36 больше, чем

ПРОЕКТИРОВАНИЕ. КОНСТРУИРОВАНИЕ

Тип соединителя	Параметры модели	Температура, °С		
		-20	+20	+60
ОНП-ВГ-36	R1, Ом	0,0088	0,004	0,0017
	L1, L2, нГн	22,66	22	21,15
	C1, C2, пФ	1,2	0,9	0,8
ГРППМ10	R1, Ом	0,0081	0,005	0,0011
	L1, L2, нГн	20,94	22	22,9
	C1, C2, пФ	2,3	2	1,8
РППГ2	R1, Ом	0,003	0,0073	0,02
	L1, L2, нГн	26	26,35	26,9
	C1, C2, пФ	0,8	0,6	0,48
СНО-51	R1, Ом	0,0056	0,005	0,004
	L1, L2, нГн	21,65	21,5	21,4
	C1, C2, пФ	1,2	1,1	1
2РМД	R1, Ом	0,0084	0,0016	0,0012
	L1, L2, нГн	22,35	21,9	21,55
	C1, C2, пФ	2,4	2,0	1,7
2РМ	R1, Ом	0,0056	0,0027	0,0017
	L1, L2, нГн	19	18	17,25
	C1, C2, пФ	2,24	2,17	1,9
ОНп-НС-Х1	R1, R2, Ом	0,0038	0,004	0,0042
	L1-L3, нГн	16,3	18,3	20
	C1-C4, пФ	0,5	0,43	0,35
ОНп-НС-Х2	R1, R2, Ом	0,008	0,011	0,0155
	L1-L3, нГн	19	20,5	22,6
	C1-C4, пФ	0,8	0,65	0,5
ОНп-НС-Х3	R1, R2, Ом	0,01	0,019	0,025
	L1-L3, нГн	23	24	25,4
	C1-C4, пФ	1,25	1,1	0,95

у РППГ2, поэтому больше и его емкость. По этим же причинам отличаются емкости и других соединителей.

При увеличении температуры сопротивление разъемных контактов у соединителей ОНП-ВГ-36, ГРППМ10, СНО-51, 2РМД, 2РМ уменьшается — вследствие увеличения контактного давления, вызванного линейным расширением контактов. У соединителей РППГ2 при увеличении температуры сопротивление контакта увеличивается. В этом случае розетка соединителя сочленяется непосредственно с печатной платой, температурный коэффициент линейного расширения которой отличается от ТКЛР металла контакта. В результате уменьшается площадь контактирования гнезд розетки с проводниками печатной платы. Также растет контактное сопротивление у соединителей типа ОНп-НС. Это связано с размягчением эластомера, выполняющего роль пружины. В результате уменьшается контактное давление, а следовательно, сопротивление контактов возрастает.

У соединителей ОНП-ВГ-36, СНО-51, 2РМД и 2РМ отрицательный температурный коэффициент индуктивности, а у соединителей ГРППМ10, ОНп-НС, РППГ2 — положительный. Все соединители обладают отрицательным температурным коэффициентом емкости.

Моделирование переходных характеристик разъемных контактов

Для моделирования контактов целесообразно использовать их переходную характеристику, которая позволяет определить влияние соединителя на передаваемые через него сигналы различной формы и, таким образом, одновременно учитывать влияние конструктивных особенностей и воздействующих факторов.

Моделирование переходных характеристик разъемных контактов производилось на ПЭВМ с помощью системы схемотехнического моделирования и проектирования Design Center (PSPice) [3] при температурах окружающей среды -20, +20 и +60°С с использованием рассмотренных эквивалентных схем разъемных контактов соединителей, когда для передачи сигнала используется одна контактная цепь (рис. 1, а, б) и когда соседние контактные цепи заземлены для уменьшения помех от других линий связи (рис. 1, в, г).

Для удобства моделирования электрическая схема представляется в виде графического файла с дружественным интерфейсом. Параметры элементов схемы можно изменять и создавать новые. Схема и ее элементы создаются в графическом редакторе Schematics. В пункте меню Schematics указываются виды моделирования для программы PSPice, которая и проводит расчет. Результаты можно посмотреть в текстовом файле и в графическом виде с помощью программы Probe. Одним из достоинств системы является то, что ее входной язык поддерживается другими САПР — OrCAD, P-CAD, ACCEL EDA, Tango PRO, Viewlogic, COMPASS, Mentor Graphics и др.

Схема включения контакта электрического соединителя для моделирования представлена на **рис. 3**. Величина нагрузочного сопротивления R равна 1 кОм.

(Соединитель показан условно, т. к. при моделировании используются модели, представленные на рис. 1.)

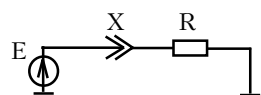


Рис. 3

Ниже представлены результаты моделирования переходных характеристик разъемных контактов соединителя ОНП-ВГ-36. Когда контакт находится на значительном расстоянии от "земляных" цепей, переходные характеристики определяются только задержкой переднего и заднего фронтов импульса (рис. 4). Величина задержки фронтов зависит от величины индуктивности выводов соеди-

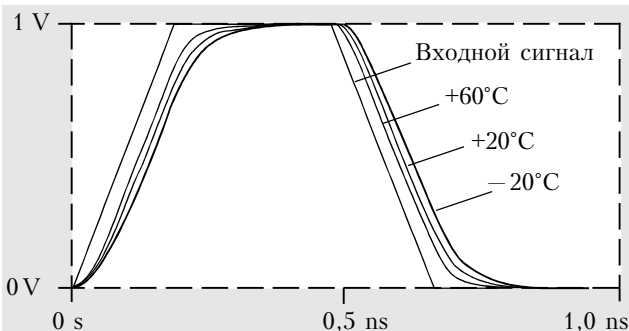


Рис. 4

нителя. Уменьшить индуктивность выводов, а значит, и задержку фронтов импульса можно параллельным включением двух (рис. 5), трех (рис. 6) и более контактных цепей. При увеличении температуры задержка сигнала уменьшается. Это связано с уменьшением индуктивности их выводов (рис. 4).

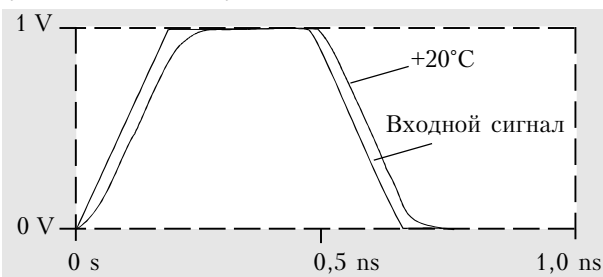


Рис. 5

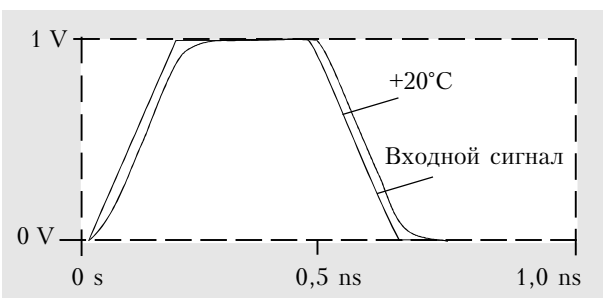


Рис. 6

Из результатов моделирования переходных характеристик для модели электрических соединителей, когда соседние контакты заземлены, видно, что в переходных характеристиках присутствует задержка сигнала и затухающие колебания переходного процесса (рис. 7). Задержка фронтов сигнала, как и при схеме включения рис. 4, зависит от величины индуктивности выводов, а также от емкости между

соседними проводниками. Чем больше емкость и индуктивность, тем задержка фронтов сигнала и амплитуда колебаний переходного процесса выше. С уменьшением температуры окружающей среды задержка сигнала и амплитуда затухающих колебаний увеличиваются, т. к. увеличивается емкость между соседними контактами и индуктивность выводов контактов.

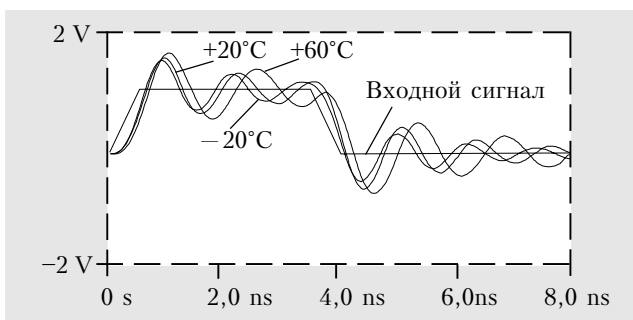


Рис. 7

Как показало моделирование, схема, в которой соседние с сигнальной контактной цепью контакты заземлены, характеризуется меньшим быстродействием, чем схема, в которой "земляные" контакты отсутствуют. Снижение быстродействия вызвано появлением распределенной емкости между контактами, в результате чего на переходной характеристике увеличилась задержка сигнала и появились затухающие колебания. Для уменьшения задержки сигнала, увеличения крутизны фронтов передаваемых сигналов и уменьшения колебаний, которые искажают сигнал, необходимо уменьшать индуктивность выводов и емкость между ними. Этого можно достичь применением материалов изоляторов с меньшей относительной диэлектрической проницаемостью, а также конструктивно-технологическим путем — снижением паразитных параметров соединителей до допустимых значений. Возможно также применение компенсационных схем включения соседних контактов, эффективность которых можно промоделировать аналогичным образом.

Рассмотренные особенности конструкций соединителей и результаты моделирования их переходных характеристик позволяют сделать вывод, что посредством моделирования можно с минимальными затратами и в короткие сроки определять влияние соединителей на передаваемые сигналы при самых разных сочетаниях конструктивной реализации их элементов и с учетом воздействующих внешних факторов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Лярский В. Ф., Мурадян О. Б. Электрические соединители: Справочник. — М.: Радио и связь, 1988.
2. Ефименко А. А. Секция стойки с соединителями на основе гибких печатных кабелей // Средства связи. — 1991. — № 4. — С. 47 — 53.
3. Разевиг В. Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (PSpice) — М.: СК Пресс, 1996.